Fb 4.4

R38721

# Physiologie des Athmens,

mit besonderer Rücksicht

auf die

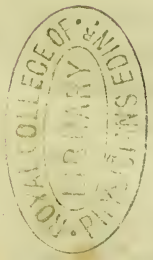
## *Ausscheidung der Kohlensäure.*

---

Nach eigenen Beobachtungen und Versuchen

von

**Karl Vierordt**, Med. Dr.




Mit einer Steindrucktafel.

**Karlsruhe, 1845.**

Druck und Verlag von Christian Theodor Groos.

In den physischen Wissenschaften sind die numerischen Verhältnisse der beste und der einzig wahre Prüfstein aller Theorien.

*Dumas*, Philosophie der Chemie. Seite 379.

# Vorrede.

Die Respirationslehre wird gegenwärtig nicht mit Unrecht zu den am weitesten fortgeschrittenen Theilen der Physiologie gezählt, was man der gelungenen Uebertragung einiger Thatsachen aus der Chemie und der Physik auf die Verhältnisse des Athmens und namentlich den Untersuchungen verdankt, welche in neuerer Zeit über das Blut, vor allem über die, in demselben enthaltenen Gase, angestellt worden sind. Dennoch erscheint auch hier eine Vermehrung des bereits vorhandenen empirischen Materiales sehr wünschenswerth, da von den zahlreichen bisherigen Forschern, unter welchen wir viele, in der Wissenschaft hochberühmte Namen erblicken, verhältnissmässig nur wenige, in der Physiologie der Respiration in Betrachtung kommende Fragen gelöst worden sind.

Seit nun bald zwei Jahren habe ich mich mit einer Reihe von Untersuchungen über die Respiration, vorzüglich über den Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft, als dem wichtigsten, hier sich bietenden Gegenstande, auf's Eifrigste beschäftigt, deren Ergebnisse ich hiermit dem physiologischen und ärztlichen Publikum vorlege, und bei denen ich mir gleich anfangs zur Aufgabe gesetzt habe, durch eine möglichst grosse Zahl genauer Beobachtungen die Erscheinungen und Gesetze der Respiration unter den verschiedensten Verhältnissen des normalen Lebens zu erforschen. Je mehr ich vorwärts schritt

und die Zahl der Beobachtungen anhäufte, desto begründeter wurde in mir die Ueberzeugung, dass die Fragen, welche bei der so veränderlichen und von so vielen Einflüssen abhängenden Funktion des Athmens untersucht werden müssen, nur durch eine bedeutende Menge von, mit grösstem Fleisse durchgeführten Beobachtungen und Experimenten zur Entscheidung gebracht werden können, wenn man anders sicher sein will, die Ausnahme nicht mit der Regel zu verwechseln und Thatsachen beibringen zu können, die auf eine mehr als bloss vorübergehende Geltung Anspruch machen dürfen. Ich bin desshalb genöthigt gewesen, meine Untersuchungen immer mehr auszudehnen, und glaube, dass dieselben, da sie unter anderem die Resultate von 578 Beobachtungen und 171 Experimenten über den Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft enthalten, nicht wohl dem Vorwurf einer flüchtigen Arbeit ausgesetzt sind.

Nachdem ich zu einer genügenden Anzahl von Beobachtungen gelangt war über den Einfluss, welchen die Temperatur, der Luftdruck, die Verdauung u. s. w. auf die Respiration äussern, lauter Gegenstände, die mir theils wegen ihrer Neuheit, theils wegen ihrer Wichtigkeit vorzüglich der Aufmerksamkeit werth schienen, ging ich über zur Erforschung der Abhängigkeit des Kohlensäuregehaltes der ausgeathmeten Luft von den Athembewegungen. Bei der zuerst vorgenommenen Bestimmung der Kohlensäurequantitäten, welche in der, durch Exspirationen von verschiedener Frequenz ausgeathmeten Luft enthalten sind, erhielt ich constant wiederkehrende, genau numerisch bestimmbare Resultate, die mir um so auffallender waren, als sie mit den hergebrachten und auch von mir bisher getheilten Ansichten über die Unmöglichkeit der Untersuchung organischer Vorgänge nach der strengen Methode der exakten Naturwissenschaft in völligem Widerspruche standen. Wenn nämlich auch schon längst in einigen Theilen der Medicin und besonders der Physiologie von den vorzüglichsten Autoritäten die *quantitative* Methode geübt worden ist, und zwar, sobald sie auf Thatsachen, auf Experimente und

Beobachtungen, und nicht auf Hypothesen sich stützte, auf eine Weise, deren Erfolge für die Wissenschaft sehr förderlich waren, so bestand jedoch dieselbe entweder nur in der unmittelbaren Uebertragung von Lehrsätzen der Physik — vor allem der Optik und des Schalles — auf die Physiologie, oder darin, dass man sich beim Studium der *vegetativen* Erscheinungen des Lebens (die für den Arzt, sowie für den Physiologen einen ungleich höheren Werth, als die zuerst erwähnten Theile der Physiologie haben) zufrieden gab, die als Effekte eines *Complexes* bekannter oder unbekannter Ursachen beobachteten Erscheinungen in ihren numerischen Verhältnissen kennen zu lernen. Auf letzterem Wege kommt man zu Resultaten, welche zu vielen Untersuchungen brauchbar sind, von denen aber nicht ein einziges für die höchste Aufgabe der Wissenschaft, nämlich für die Theorie im Sinne der exakten Naturforschung verwendet werden kann.

Dahin war man in der Physiologie nicht gelangt, ja man hatte es sich eigentlich niemals zur Aufgabe gesetzt, die Ursachen einer beobachteten Wirkung nicht etwa bloss im Allgemeinen, sondern jede einzelne für sich, so scharf als immer möglich, zu erforschen und die gegenseitige Abhängigkeit der beobachteten Erscheinungen, gestützt auf das Experiment mathematisch genau darzustellen.

In den erwähnten Studien über den Einfluss, welchen die, in verschiedener Weise modificirten Athembewegungen auf die Ausscheidung der Kohlensäure ausüben, deren Resultate mir anfangs nicht viel mehr als blosse Curiositäten und unverwerthbar für die tiefere Kenntniss der Respiration zu sein schienen, musste ich, indem die hierher gehörigen Fragen sich erweiterten und mehrten, bald das Mittel erblicken, zur Kenntniss der, bisher noch gar nicht untersuchten Gesetze gelangen zu können, nach welchen der Gaswechsel zwischen dem Blute und den Lungen erfolgt, dieses Grundphänomen der Respiration, dessen Erforschung die erste Bedingung zu einer exakten Physik des Athmens enthält.

Es ist nicht zu läugnen, dass bei unserem Gegenstande sowohl, wie überhaupt bei jeder anderen Ausscheidung, das Studium der mechanisch-chemischen Vorgänge, durch welche die Ausführung der Se- und Excretionsstoffe bewirkt wird, am meisten geeignet ist, zur genauen Kenntniss der Natur der fraglichen Funktion beizutragen. Ich habe desshalb keine Anstrengung gescheut, um die Gesetze, welche das kohlensaure Gas bei seinem Austreten aus dem Blute in die Lungen und von da in die Atmosphäre befolgt, so vollständig als möglich, mittelst einer grossen Reihe von Experimenten kennen zu lernen. Die dadurch gewonnenen Thatsachen behalten ihre Geltung, welcher Ansicht man auch hinsichtlich der übrigen, bei der Respiration in Betrachtung kommenden Fragen folgen mag; ja sie erlauben uns sogar, unsere Schlüsse weiter auszudehnen, der Quelle der Bildung der Kohlensäure und den dabei stattfindenden Gesetzmässigkeiten näher zu rücken und gewisse, den Chemismus der Respiration zunächst betreffenden Fragen zu untersuchen. Ich glaube, dass ich mir keine gewagte Hypothese bei allen diesen Untersuchungen habe zu Schulden kommen lassen, indem dieselben theils auf die, von mir selbst, durch zahlreiche Experimente gewonnenen Erfahrungen, theils auf bekannte und sicher constatirte Beobachtungen über den Gasgehalt des Blutes und endlich auf die, keinen Einwurf erleidende Annahme gegründet sind, dass zwischen dem Blute und den Organen exosmotische Strömungen stattfinden, die durch die Membran der Capillargefässe vermittelt werden.

Ich wurde dadurch zu einer Respirationstheorie geführt, welche mit den Gesetzen der Diffusion der Gase und der Exosmose vollkommen harmonirt, und die mir schon ihrer Einfachheit wegen, abgesehen von anderen Gründen, einige Beachtung zu verdienen scheint. *Es sind nämlich lediglich die Gleichgewichtsverhältnisse zwischen der Zusammensetzung der in den Organen, in dem Blute und in den Lungen enthaltenen Gase, auf welche ich alle Erscheinungen bei der Respiration in letzter Instanz zurückführen konnte,* was derjenige für ganz plausibel, ja für unumgänglich nöthig halten wird, der über die

Erscheinungen des Stoffwandels im Organismus auch nur etwas näher nachgedacht hat. Diese Theorie ist so einfach, dass sie durch einen Physiologen von grösserer Erfahrung und besserem Talente, als mir zu Gebote steht, füglich *a priori* hätte aufgefunden werden können. Die rein empirische, auf das Experiment gestützte Methode, die ich befolgt habe und befolgen musste, wird indessen geeignet sein, der Theorie eine grössere Sicherheit zu gewähren, denn sie enthält, sowie die Thatsachen, auf die sie basirt ist, nichts Gemachtes und schon von vorneherein Bestimmtes, was auf dem anderen Wege, so sehr man sich auch dagegen zu hüten sucht, kaum vermeidbar ist.

Die von mir vorgetragene Respirationstheorie ist, wie schon angedeutet, zum Theile in den Ansichten präformirt, zu welchen die grosse Mehrzahl der Physiologen, in Folge der in neuerer Zeit angestellten, wichtigen Untersuchungen über den Gasgehalt des Blutes nothwendig geführt werden musste. Doch standen derselben bisher manche, namentlich auf chemische Untersuchungen des Blutes gegründeten Erfahrungen entgegen, und der gesammte Athmungsprocess wurde einerseits ausschliesslich nach seinen physikalischen Momenten, als ein Ortswechsel von Gasen, andererseits einseitig als ein rein chemischer Vorgang betrachtet, bei welchem man glaubte, sich um die physikalischen Verhältnisse gar nicht bekümmern zu müssen. Beide, nur scheinbar einander widersprechenden Ansichten, von denen jede nicht wenige vollgültige Thatsachen, sowie berühmte Gewährsmänner aufzuweisen vermag, mussten demnach vermittelt und jeder derselben ihre Grenze zugewiesen werden. In wiefern mir diese Aufgabe, deren Beantwortung ganz einfach, aus schon früher gewonnenen Ansichten, sich ergeben hat, gelungen ist, mögen Andere entscheiden.

Vor dem letzten Schritte, den die Respirationslehre zu thun hat, habe ich inne gehalten, nämlich bei dem Studium des Zerfallens der organischen Moleküle in die verschiedenen Excretionsprodukte, bei welchen die, durch das Athmen ausgeschiedenen Gase die hauptsächlichste Rolle spielen. Hier

musste die Darstellung, aus Mangel an Thatsachen, sich ganz allgemein halten und, wollte sie sich nicht mit Hypothesen abgeben, ein detaillirteres Eingehen durchaus vermeiden. Doch können auch hier die Fragen bereits mit Präcision gestellt und mittelst zureichender Hülfsmittel untersucht werden, so dass sicher zu hoffen ist, die Wissenschaft werde über den Antheil der verschiedenen Organe an der Bildung des exspirirten Kohlensäure- und Stikgases nicht lange mehr in Ungewissheit bleiben und auch die wichtige Frage ihre Erledigung bald finden, in welchem Verhältnisse das, durch sämmtliche Excretionen ausgeschiedene Wasser zu den, in der Nahrung und in dem Getränke in den Körper eingeführten Wasserquantitäten steht.

Die Naturwissenschaften können nur dann zu dem wünschenswerthen Grade von Sicherheit und Gewissheit gelangen, wenn sie sich zur Aufgabe setzen, bei der Untersuchung der gegenseitigen Beziehungen zwischen Ursache und Wirkung die quantitativen Verhältnisse möglichst zu berücksichtigen. Es genügt nicht, Experimente und Beobachtungen anzustellen; wir müssen zu allen unseren Untersuchungen den Sinn für quantitative Auffassung mitbringen. Einzig und allein durch Befolgung dieses Grundsatzes scheiden sich — und zwar durch eine weite Kluft — diejenigen Naturwissenschaften, die mit dem Ehrentitel der „exacten" geschmückt sind, von den übrigen, unter welchen sich namentlich auch die befinden, deren Gegenstand die organische Natur ist.

Je einfacher eine Erscheinung ist, um so eher gelingt es uns, die Abhängigkeit derselben von ihren Ursachen vollständig kennen zu lernen. Da zudem gerade die einfachsten, d. h. die von nur einer oder wenigen Ursachen abhängenden Erscheinungen beim Studium der complicirteren Fragen uns entgegentreten, so muss den, bei der Untersuchung der ersteren aufgefundenen Thatsachen eine allgemeinere Gültigkeit zukommen; dieselben müssen die Grundlage sein, von welcher aus die Forschung mit Aussicht auf wahren Erfolg weiter geführt werden kann. So ist bei dem Respirationsprocesse die Un-

tersuchung sämmtlicher Momente, durch welche die Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Blute zunächst vermittelt wird, der nothwendige Ausgangspunkt der Forschung, durch dessen Beantwortung das Studium der übrigen, complicirteren Fragen bedeutend erleichtert wird, indem die aufgefundenen Gesetze keine beschränkte, individuelle, sondern eine ganz allgemeine Bedeutung haben.

Sobald es uns gelingt, die Wirkungsgrösse auch nur einiger organischen Vorgänge und Ursachen mathematisch genau darzustellen, so besitzen wir einen sicheren, untrüglichen Führer bei der Erforschung der Gesetze des organischen Lebens. Wir setzen uns alsdann dem, sonst unvermeidlichen, Irrthume nicht aus, den verschiedenen Ursachen einer beobachteten Wirkung, eine zu grosse oder zu geringe Bedeutung beizulegen; da wir in jedem gegebenen Falle das Verhältniss, in welchem jede dieser Ursachen für sich zu der, allen gemeinsamen Wirkung steht, mathematisch genau zu bestimmen im Stande sind. Die organischen Vorgänge verlieren dann den Charakter der Regellosigkeit, des Unerforschbaren, der ihnen — als wollte man denselben eine höhere, über die gewöhnlichen Gesetze der Materie erhabene Bedeutung vindiciren — so häufig und so gerne zugeschrieben wird.

Wir können die, im Verhältnisse zu den exakten Naturwissenschaften, geringe Ausbildung der Physiologie und Medicin, vom vorurtheilsfreien und aufrichtigen Standpunkt aus, unmöglich einzig und allein aus der Schwierigkeit des Gegenstandes selbst erklären; wir müssen zugestehen, dass es die *Methode* ist, die wir befolgen, welche unser Fortschreiten am meisten hemmt, eine Methode, welche die Physik, die Mechanik, die Astronomie zur Zeit ihrer Kindheit, ehe sie den Charakter der exakten Wissenschaften sich erworben, ebenfalls übten, und ohne deren Verbannung dieselben gegenwärtig auf den Standpunkt stehen würden, den wir Mediciner noch nicht verlassen haben. Es ist nicht die Einfachheit der Phaenomene, welcher z. B. die Physik ihre gegenwärtige Ausbildung, ihre in einigen Theilen bewunderungswürdige Vollendung

verdankt, denn sie hat, wie sattsam bekannt ist, schwierigere Probleme zu lösen verstanden, als die Physiologie, oder gar die Pathologie; sie wäre ohne die Principien, die sie befolgt, auch nicht zur exakten Erklärung der allereinfachsten Phänomene gelangt. Die genannten Wissenschaften, vor allen die Physik und die Mechanik, dienen uns zum nachahmungswürdigen Vorbilde; sie sind nicht etwa — wie man leider so oft noch hören muss — Hülfswissenschaften, die der Medicin und Physiologie ferne stehen. Wir haben aus ihnen viele Lehrsätze entweder unmittelbar, oder mit Berücksichtigung der eigenthümlichen Zustände der organischen Körper in die Physiologie und Pathologie herüberzutragen, vor allem aber ihre Methode, ihre Philosophie der Forschung zu befolgen. Ein um die organischen Naturwissenschaften hochverdienter Gelehrter hat uns in dieser Beziehung erst neuerdings die herben, aber wahren Worte zugerufen*): „So lange sich die Physiologen und namentlich die Pathologen nicht dazu entschliessen, die Methoden der Physik und Chemie zu befolgen, denen, wie die allerdeutlichsten Erfahrungen beweisen, die Chemiker und Physiker alle ihre Erfolge verdanken, ist für sie kein Fortschritt zu erwarten."

Wir müssen in der That zugeben, dass gegenwärtig alle Bedingungen zur erfolgreichen Bearbeitung der Medicin und Physiologie im Geiste der exakten Naturwissenschaften vorhanden sind. Die hauptsächlichsten Hindernisse, mit welchen diese Richtung zu kämpfen hat, liegen in den Vorurtheilen derer, welche die Erscheinungen im Organismus, wenn auch nicht von denen der übrigen Natur specifisch verschieden, aber doch für so ausserordentlich complicirt halten, dass an eine exakte Kenntniss derselben niemals zu denken sei. Durch Nichts kann diese, unsere Fortschritte so sehr hemmende Ansicht gründlicher widerlegt werden, als durch solche Untersuchungen, welche sich zur Aufgabe machen, immer nur eine oder we-

*) *Liebig*, Bemerkungen über das Verhältniss der Thier-Chemie zur Thier-Physiologie. Heidelberg, 1844. S. 26.

nige, aber mit Präcision gestellten, Fragen consequent nach allen ihren Beziehungen zu erörtern und zugleich die quantitativen Verhältnisse vorzüglich zu berücksichtigen, indem man einestheils bei der Forschung mittelst des Experimentes die fragliche Ursache mit verschiedener, genau gekannter Intensität wirken lässt, oder andererseits, wenn man den Weg der Beobachtung einzuschlagen hat, die Erscheinungen nur unter solchen Verhältnissen beobachtet, welche ebenfalls unter sich in genau bestimmten Beziehungen stehen. Sind endlich die Untersuchungen in hinreichender Menge angestellt worden — eine Bedingung, welcher bei der Erforschung von organischen Vorgängen allerdings mit viel grösserem Zeitaufwand, und desshalb auch viel schwieriger genügt werden kann, als dieses bei physicalischen Studien der Fall ist — so erlangt man die Ueberzeugung, dass auch die organische Natur in allen ihren Aeusserungen sich innerhalb viel weiterer Grenzen bewegt, als man gewöhnlich annimmt, *und dass die Erscheinungen im Organismus ebenso messbar sind, als diejenigen in der unorganischen Natur.*

Diese Methode der Forschung ist gegenwärtig vor allem anwendbar bei dem Studium der vegetativen Seite des Lebens; doch es berechtigen uns schon manche, namentlich aus der psychiatrischen Statistik hervorgehende Thatsachen, dass dieselbe einst sich auch bei der Erforschung der complicirtesten Phänomene unseres Organismus, nämlich derjenigen des Nervenlebens, geltend machen wird, wozu uns gegenwärtig freilich der Schlüssel noch fehlt, sodass die Fragen nicht mit der Präcision gestellt werden können, wie es bei der Untersuchung der vegetativen Erscheinungen der Fall ist.

Gänzlich mit Unrecht hat man die Möglichkeit und den Werth der quantitativen Methode aus der Geschichte der Medicin selbst widerlegen wollen. Durch die, auf lauter willkührliche Annahmen gegründeten, längst widerlegten und vergessenen Lehren der jatromathematischen und jatromechanischen Schule können die Bemühungen derjenigen keineswegs verdächtigt werden, welche die Erscheinungen auch von ihrer

quantitativen Seite auffassen, aber dabei von der Erfahrung, als der einzigen Stütze der Forschung ausgehen. Das Unwesen der alten Jatrochemiker ist ebenso wenig im Stande, den entschiedenen Nutzen in Zweifel zu ziehen, welchen die heutige Chemie der Physiologie gewährt.

Wenn diese Schrift Resultate enthält, welche für die Physiologie nicht völlig werthlos erscheinen dürften, so habe ich dieses bloss der Befolgung der oben erwähnten Principien zu verdanken, welche freilich ohne die Zustimmung von Seiten gewichtiger Autoritäten sich nur sehr schwer geltend zu machen vermögen und die namentlich dadurch wirksam gefördert werden können, dass ihre Ausführbarkeit durch fernere Untersuchungen im Sinne der quantitativen Methode thatsächlich bewiesen wird. Das Beispiel kann hier allein wirken und anregen. Der Tadel über die falsche Richtung der bisherigen Methode in der Medicin ist so alltäglich geworden, dass er gar keinen Werth mehr hat und in völligen Misscredit kommen muss, wenn er nicht durch den thatsächlichen Beweis unterstützt wird, dass eine bessere Richtung, im Geiste der exakten Naturwissenschaften, allerdings möglich ist. —

Ich erlaube mir noch, über den Inhalt dieser Schrift einige Bemerkungen zu machen. Da die Untersuchungen über den Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft die Basis meiner Arbeit bilden, so war ich genöthigt, die hierher gehörigen, speciellen Untersuchungen voran zu stellen, und dann erst den allgemeinen Theil nachfolgen zu lassen. Ich verzichtete auf eine streng systematische Darstellung, weil ich sonst auf Vieles, was ich wohl als bekannt voraussetzen darf, hätte eingehen müssen. Wenn ich nämlich auch glaube, nicht wenige in der Respirationslehre zu erörternden Fragen berücktigt zu haben, so geschah dieses doch mehr in der Art, dass ich dieselben vorzugsweise mittelst eigener Untersuchungen zu beantworten suchte. Man wird mir keinen Vorwurf machen, dass ich viele Thatsachen und Ansichten anderer Forscher, die zudem in jedem Lehrbuche der Physiologie nachgeschlagen werden können, übergangen habe; ich wollte meine

Arbeit nicht zu sehr ausdehnen und den Leser mit Aufzählen und Citiren allbekannter und schon hundertmal reproducirter Dinge verschonen. Einen Abschnitt aus der Respirationslehre habe ich jedoch völlig unerwähnt gelassen, nämlich den Mechanismus der Athembewegungen; es wäre mir nicht möglich gewesen, nach der vortrefflichen Arbeit, welche die Herren *Beau* und *Maissiat* in den Archives générales de médecine unlängst mitgetheilt haben, etwas Neues zu sagen. Desto mehr Sorgfalt habe ich auf eine andere, hierher gehörende Frage verwendet, nämlich auf die Untersuchung des Einflusses der Athembewegungen auf den physikalisch-chemischen Prozess des Athmens.

Ich habe geglaubt, sämmtliche Beobachtungen speciell anführen zu müssen, theils um die Controle derselben, sowie der aus ihnen gezogenen Resultate, möglich zu machen, theils auch, weil dieselben dem Leser Material bieten zu manchen Untersuchungen, in die ich in dieser Schrift nicht weiter eingegangen bin.

Sämmtliche Versuche und Beobachtungen habe ich an mir selbst angestellt. Man verlangt zwar häufig von Untersuchungen dieser oder ähnlicher Art, dass dabei die verschiedensten Individualitäten berücksichtigt werden, und glaubt, bloss unter dieser Bedingung aus den erhaltenen Resultaten allgemeine Schlüsse ziehen zu können. Hätte ich dieser Forderung entsprochen, so wäre es mir völlig unmöglich gewesen, den Einfluss der Temperatur, des Luftdruckes, der Verdauung u. s. w. auf die Respiration auch nur annähernd kennen zu lernen, denn diese Fragen können nur durch eine sehr grosse Zahl solcher Beobachtungen gelöst werden, die unter möglichst gleichen Bedingungen angestellt worden sind, was natürlich dadurch viel eher erreicht wird, wenn man beständig ein und dasselbe Untersuchungsobjekt vor sich hat, als wenn die Untersuchung durch Berücksichtigung vieler Individualitäten zersplittert wird. Damit will ich aber durchaus nicht in Abrede stellen, dass die genannten, entfernten und complicirten Ursachen auf jedes Individuum einen besonderen, jedoch von der allgemeinen

Norm sicherlich nicht sehr abweichenden, Einfluss ausüben, der allerdings der Untersuchung werth sein mag. Bevor wir aber in solche, ganz specielle Studien eingehen, haben wir bei der Untersuchung des Athmens, wie überhaupt bei der Erörterung sämmtlicher physiologischen und pathologischen Fragen, vor allem die Aufgabe, den Einfluss der nächsten Ursachen kennen zu lernen, die zur gründlichen Kenntniss der Erscheinungen bei weitem am meisten beitragen. Ich habe desshalb gar keine Veranlassung gehabt, meine Experimente auf andere Individuen auszudehnen, obgleich ich dazu, namentlich zu klinischen Beobachtungen, vielfache Gelegenheit gehabt hätte. Die auf letzterem Wege erhaltenen Resultate sind, wenn sie nicht, was die Kräfte eines Einzelnen kaum gestatten, aus einer sehr grossen Reihe von Untersuchungen hervorgehen, nicht wohl im Stande, mehr als blosse historische Thatsachen abzugeben.

Da Untersuchungen in letzterem Sinne mir ziemlich nutzlos scheinen bei dem gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaft, welche vor allem allgemeiner Grundsätze und genereller Gesetze bedarf, um in die bunte Masse des Details Einsicht gewinnen zu können, so habe ich manche, von meinen Vorgängern vorzugsweise untersuchten, in die vorhin erwähnte Kategorie fallenden, Fragen unberücksichtigt lassen müssen. Es war mir besonders darum zu thun, die Wirkungsgrösse jedes einzelnen, der Untersuchung unterworfenen Einflusses, je nach der Intensität, mit welcher der letztere im gegebenen Falle auftritt, zu ermitteln. Die auf diese Weise erhaltenen Resultate sind unter sich vergleichbar; möge nun die Untersuchungsmethode — wie das bei allen unseren Experimenten nicht zu vermeiden ist — mehr oder weniger an Mängeln leiden, so sind letztere doch constant und desshalb auf das Endresultat von keiner Bedeutung.

Die von mir gewählte, einfache und bequeme Methode bei der Ansammlung der exspirirten Gase hat übrigens, im Vergleiche zu manchen anderen, in neuester Zeit von mehreren ausgezeichneten Forschern befolgten Verfahrungsweisen,

den unbestrittenen Vortheil, dass wir mittelst derselben nicht nur über die absolute Menge der ausgeathmeten Kohlensäure, sondern auch über das Verhältniss, in welchem die letztere zu der überhaupt ausgeathmeten Luft steht, Aufschluss erhalten, eine Frage, die für die Physiologie der Respiration von hoher Wichtigkeit ist.

Die Natur der Fragen, deren Lösung ich mir vorzugsweise zur Aufgabe gemacht habe, verlangte es, dass alle meine Beobachtungen unter möglichst gleichen Bedingungen angestellt wurden. Sie sind desshalb mit sehr wenigen Ausnahmen, im Zustande der vollkommensten körperlichen Ruhe, beim Sitzen und (was nöthiger ist, als man vielleicht glauben mag) unter Vermeidung jedes, auf die Athembewegungen beschleunigend wirkenden, Druckes der Kleidungsstücke angestellt worden, wesshalb auch die daraus erhaltenen Resultate zur Berechnung der, in einem grösseren Zeitraum ausgeathmeten Kohlensäure nicht verwendet werden können, da die Respiration einen grossen Theil des Tages hindurch, selbst schon beim ruhigen Stehen, mehr angeregt wird. Die von manchen Experimentatoren für den Zustand der Ruhe erhaltenen Kohlensäurewerthe sind so gross, dass, wenn wir noch den, während der Bewegung und der körperlichen Anstrengung ungemein gesteigerten Kohlensäureverlust hinzurechnen, in einem grösserem Zeitraume eine viel bedeutendere Menge von Kohlensäure aus dem Körper treten müsste, als wir zufolge der, über den Kohlenstoffgehalt der Nahrungsmittel bekannt gewordenen Thatsachen annehmen dürfen. Ich fand mittelst einer sehr genauen Wage, bei welcher bei einer Belastung von fast 100 Kilogrammen noch ein Gramm einen Ausschlag gibt, dass meine insensibeln Auscheidungen überhaupt, im Mittel aus einigen, mehrere Stunden fortgesetzten Beobachtungen, in der kalten Jahreszeit und während der Verdauung (also unter Verhältnissen, die den Stoffwechsel sehr beschleunigen), in einer Minute im Zustande der Ruhe sich auf 0,65 Gramm beliefen; womit die Ergebnisse, die ich über die, unter glei-

chen Verhältnissen ausgeschiedenen Kohlensäurequantitäten erhalten habe, sich durchaus vereinigen lassen. —

Schliesslich fühle ich mich meinem geehrten Lehrer und Freund, Herrn *W. Eisenlohr*, Professor der Physik an der hiesigen polytechnischen Schule, zum lebhaftesten Danke verpflichtet für mancherlei Unterstützungen, welcher sich meine Arbeit von Seiten dieses vielseitig gebildeten und an jeder wissenschaftlichen Bestrebung den wärmsten Antheil nehmenden Gelehrten zu erfreuen hatte.

*Karlsruhe*, im Februar 1845.

Dr. *Vierordt.*

# Erster Abschnitt.

## *Beschreibung der, bei der Untersuchung der ausgeathmeten Luft angewandten, Methode.*

---

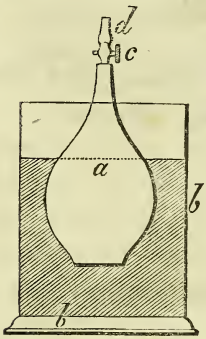
## Erstes Kapitel.

### *Verfahren bei der Ansammlung der ausgeathmeten Luft.*

Der bei diesen Untersuchungen zuerst zu erfüllenden Bedingung, d. h. der Ansammlung der zu exspirirenden Luft, stellen sich manche Hindernisse entgegen, welche nur durch lange und vielfache Uebung beseitigt werden können, wenn man nicht wie *Scharling* in seiner vortrefflichen, leider aber aus nur wenigen Beobachtungen bestehenden, Arbeit verfuhr, *) in einem geräumigen Kasten bei gehöriger Luftzufuhr die Beobachtungen anstellen will. Aber selbst diese, bei weitem sicherste Methode giebt, so lange uns Erfahrungen über die Gasausscheidung der Haut abgehen, über die Lungenexhalation keine vollkommen genügenden Resultate, obgleich es unzweifelhaft ist, dass die Ausscheidung der Kohlensäure durch die allgemeinen Bedeckungen des Körpers (wenn eine solche überhaupt stattfindet), im Vergleiche zum Respirationsprozess kaum in Betrachtung kommen kann. Auch ich hätte ein ähnliches Verfahren eingeschlagen, wenn ich — abgesehen von den bedeutenden Kosten eines solchen Appa-

*) Annal. d. Chemie von *Wöhler* und *Liebig*, Bd. 45, Heft 2.

rates — über eine gehörige Lokalität und die dazu nöthige, zahlreiche Assistenz hätte verfügen können. Ich war aber genöthigt, eine einfache Methode zu wählen, da ich alle meine Versuche allein anstellen musste und namentlich auch die Absicht hatte, eine möglichst grosse Anzahl von Beobachtungen zu sammeln, in der Ueberzeugung, dass gerade dadurch viele Fragen eher gelöst werden können, als durch nur wenige, wenn auch aus der genauesten Untersuchungsmethode resultirende Beobachtungen. *)




Zur Ansammlung der auszuathmenden Luft bediene ich mich eines gläsernen Ballons (Fig. 1 a.) — wir wollen ihn *Exspirator* nennen — dessen Rauminhalt 9200 Kubikcentimeter **) beträgt und der in einen geräumigen, mit Kochsalzlösung gefüllten, Behälter (b) gestellt wird. Der Exspirator wird an beiden Enden enger und kann oben durch einen Hahn (c) luftdicht geschlossen werden. Auf dieses obere Ende wird, nachdem der Exspirator mit Kochsalzlösung vollständig gefüllt worden ist, ein kurzes, der Mundöffnung leicht anzupassendes, Ansatzröhrchen (d) geschraubt, durch welches man, nach geöffnetem Hahn, in der Exspirator ausathmet, aus dessen unterem offenen Ende in dem Maasse, als das Gas sich ansammelt, die Kochsalzlösung in den Behälter b ausfliesst, wobei man Rücksicht nehmen muss, dass die Sperrflüssigkeit innerhalb und ausserhalb des Exspirators beständig im Niveau stehe. Diese untere Oeffnung des Exspirators muss einerseits geräumig genug und weiter als die obere sein, damit dem Abflusse der Kochsalzflussigkeit keinerlei Hindernisse in den Weg treten, da die Strö-

*) Denjenigen, welche etwa die von mir befolgte Untersuchungsmethode benützen wollen, glaube ich eine genauere und umständlichere Beschreibung derselben schuldig zu sein, als es gewöhnlich der Fall ist. —

**) 1 Rheinischer Kubikzoll = 17,886 Kub. Centim. 1 Pariser Würelzoll = 19,836 Kub. Cent.

mungen tropfbarer Flüssigkeiten schwerer erfolgen als diejenigen der elastischen Fluida, andererseits muss aber auch der untere Theil des Exspirators sich etwas zuspitzen, damit das Volumen der ausgeathmeten Luft so genau als möglich gemessen werden kann. Das erwähnte Mundstück braucht nur aus einer einfachen kurzen Röhre zu bestehen; die Lippen verschliessen dasselbe gehörig, und eine derartige ungekünstelte Einrichtung verdient bei weitem den Vorzug vor allen zusammengesetzten Apparaten, namentlich vor, hermetisch das ganze Antlitz oder die Mundöffnung bedeckenden Masken, durch welche leicht Athembeschwerden verursacht werden. Zu manchen Untersuchungen war mir ein zweiter derartiger Apparat nöthig, den ich ganz nach dem Muster des ersten wählte, ausgenommen dass die untere Oeffnung des Exspirators noch viel weiter war, was zum schnellen Abfliessen der Kochsalzlösung durchaus nöthig ist, wenn man den Exspirator durch sehr frequente oder sehr tiefe Ausathmungen in der kürzesten Zeit füllen will.

Unzweckmässig ist die von Einigen gegebene Vorschrift, während des Momentes der Exspiration jedesmal die Nase zu schliessen, damit keine Luft aus derselben entweiche. Ich habe mich durch genaue Beobachtungen überzeugt, dass sowohl beim normalen und ruhigen Ein- als Ausathmen die Luft nur *einen* Weg, entweder durch die Nase oder durch den Mund einschlagen kann; gleichzeitige Strömungen durch beide Oeffnungen sind durchaus unmöglich, was wahrscheinlich — obwohl ich mir darüber kein bestimmtes Urtheil erlauben will — in der verschiedenen Stellung des Gaumensegels bedingt ist. *) Eine sehr unbedeutende

*) Nur bei sehr starken und mit grosser Kraft erfolgenden Ausathmungen kann die Luft aus beiden Oeffnungen zugleich entweichen, was bei den ruhig erfolgenden Ausathmungen bei meinen Versuchen niemals der Fall war. Zur vollkommenen Bestätigung dieser Behauptung dient folgender Versuch: bei Beobachtung 374 fand ich in der exspirirten Luft 5,21 % Kohlensäure; ½ Stunde später machte ich — Versuch 374 a. innerhalb 3 Minuten 33 Ein- und Ausathmungen durch die *Nase*, während ich das Mundstück des, mit atmosphärischer Luft zur Hälfte gefüllten, Exspirators im Munde hatte. Es wurde nicht nur keine Be-

Fehlerquelle entsteht dagegen durch Offenbleiben der Nase in so ferne, als der Diffusion der Gase auf diesem Wege keine Grenze gesetzt ist, indem die atmosphärische Luft einerseits und die kohlensäurereichere Luft der Nasenhölen andererseits sich nothwendig bestreben werden, hinsichtlich ihrer Mischung in's Gleichgewicht zu kommen, was auch auf die Mischung der im Schlundkopfe befindlichen, überhaupt der tieferen, in den Athemwerkzeugen vorhandenen Luftschichten von einigem, wenn auch kaum merklichen Einflusse sein muss. Diese Diffusionswirkung ist aber nicht von der Art, dass durch dieselbe der in dem Exspirator angesammelten Luft eine nur irgend erhebliche Menge Kohlensäure entzogen werden könnte. Ich habe indessen vier vergleichende Versuche über den Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft angestellt, je nachdem die Nasenöffnung verschlossen war oder nicht.

Bei der gewöhnlichen Art der Füllung des Exspirators erhielt ich (Beob. 416) $3^h$ — 3,98 % und bei der Untersuchung einer, $3^h$ $4'$ exhalirten Quantität Luft, wobei während jeder Ausathmung die Nasenlöcher verschlossen wurden, was mich etwas belästigte, in Nr. 416 a. 4,28 % Kohlensäure. Ein anderer Doppelversuch (Beob. 417) ergab für das gewöhnliche Athmen 3,96 %, für das unter den genannten Umständen erfolgte dagegen Versuch 417 a. 4,15 %. Es traten jedoch in diesem Falle, wenn auch nur geringe, Respirationshindernisse ein und ich bin vollkommen überzeugt, dass die unter diesen Umständen gefundenen grösseren Kohlensäurewerthe von der genannten Ursache und nicht von der Abhaltung der gewiss viel weniger bedeutenden Diffusion herrühren. Der Gegenstand schien mir jedoch nicht wichtig genug, um durch fortgesetzte Beobachtungen geprüft zu werden.

---

wegung der Sperrflüssigkeit beobachtet, sondern auch in der, in dem Exspirator enthaltenen Luft keine Kohlensäure gefunden, zum deutlichen Beweise, dass von der während des Aktes der Exspiration durch die Nase ausgestossenen Luft nichts durch die Mundöffnung entwich. Ohne Bedenken kann ich umgekehrt diese Erfahrung auch für die Verhältnisse, unter welchen ich bei meinen Versuchen die Ausathmungen durch den Mund vollführte, in Anspruch nehmen.

Der Exspirator wird durch 15 bis 22 Ausathmungen gefüllt, wozu, da die in einer Minute gemachten Exspirationen sich im Mittel auf 12 belaufen, in der Regel ¾ — 1½ Minuten erforderlich sind. Man könnte die Grösse des Exspirators nicht genügend finden, und einen Schluss aus der in einer so kurzen Zeit angesammelten Kohlensäuremenge auf die in einem grösseren Zeitraume, z. B. in einer Stunde, gebildeten Quantitäten für unzulässig halten. Ein solcher Einwurf ist jedoch bei näherer Prüfung von keinem Belange. Es treten allerdings, selbst innerhalb des Zeitraumes von einer Stunde, namentlich zu gewissen Tageszeiten, sogar im Zustande verhältnissmässiger Ruhe nicht unerhebliche Schwankungen in dem Bedürfnisse und der Stärke des Athmens auf, wesshalb ich es auch vorgezogen habe, die ausgeathmeten Kohlensäurequantitäten für die Dauer von bloss *einer* Minute und nicht, wie es gewöhnlich geschieht, für grössere Zeiträume zu berechnen. Ich musste dieses um so mehr thun, als häufig in *eine* Stunde zwei Beobachtungen fallen, welche das vorhin über die Schwankungen der Kohlensäureabscheidung Gesagte hinreichend beweisen.

Es gehört zur Füllung des Exspirators *viele Uebung*, um den ungemein störenden Einfluss, den die Aufmerksamkeit namentlich auf die Tiefe der Einathmungen ausübt, zu beseitigen, wesshalb ich auch das erste Hundert meiner Versuche der Mittheilung gar nicht werth halte und mir einen Schluss auf die, innerhalb einer gewissen Zeit gebildeten, Mengenverhältnisse der ausgeathmeten Luft und des kohlensauren Gases erst nach langer Uebung und nach Anstellung mehrerer Hunderte von Experimenten erlaubt habe, indem die zuerst aufgeführten Beobachtungen sich auf die Angabe der in 100 Theilen Luft enthaltenen Kohlensäuremenge beschränken. Schon die erwähnten Athemhindernisse bestimmten mich, ausser anderen entscheidenderen Gründen, von denen später die Rede sein wird, die Beobachtungen an mir allein anzustellen, da mehrere Personen, die ich den Exspirator vollathmen liess, sowohl in Bezug auf die Dauer als die Tiefe durchaus abnorme Athembewegungen machten.

Will man sich einen Schluss auf die Raumverhältnisse einer

Ausathmung erlauben, so muss die Füllung des Exspirators ohne alle Athmungsbeschwerden vor sich gehen; man muss es dahin gebracht haben, auf diese Art eben so leicht, als unter den gewöhnlichen Umständen athmen zu können und die Athembewegungen dürfen während des Experimentes hinsichtlich ihrer Dauer nicht die geringste Abweichung zeigen. Ist der Brustkorb nach Beendigung des Versuches ausgedehnter, als es vor demselben der Fall war — was bei Ungeübten jedesmal erfolgt — so haben, wenn auch nur unbedeutende oder selbst nicht einmal bemerkte Respirationshindernisse stattgefunden, die ein ungenaues Resultat hinsichtlich des ausgeathmeten Luftvolumens und der gebildeten Kohlensäurequantität zur Folge haben müssen.

In nicht wenigen zur Vergleichung angestellten Versuchen füllte ich den Exspirator genau in derselben Zeit und durch die nämliche Zahl von Ausathmungen, worin ich einen vollgültigen Beweis für die Genauigkeit meiner Beobachtungen in dieser Hinsicht zu finden glaube.

Fast eben so schwer ist es, hinsichtlich der Dauer einer Athembewegung Fehler zu vermeiden, welche letztere bei Berechnung der in einer gewissen Zeit ausgeathmeten Luftmenge von dem störendsten Einflusse sein müssen. Es genügt nicht, die Uhr in der Hand die Athembewegungen zu zählen; die Aufmerksamkeit steigert die Zahl derselben, was erst nach längerer Uebung vermieden werden kann, so dass man es nämlich selbst dahin bringt und bringen muss, die Zahl der Ausathmungen fast bewusstlos genau zählen zu können. Durch mehrere hundert angestellte Beobachtungen lernen wir endlich auch diese Schwierigkeit besiegen und uns den normalen Verhältnissen immer mehr nähern. *Guy* wendet eine Vorrichtung an, die, ohne dass man die Aufmerksamkeit darauf richten muss, die Zahl der Athembewegungen angibt. Da er aber die Zahl der Athemzüge in gesunden Verhältnissen selbst für den Zustand comparativer Ruhe bis auf 22 in der Minute angiebt, eine Grösse, welche zu ausserordentlichen Zahlen hinsichtlich des Kohlensäureverlustes durch die Lungen führen würde und die sicherlich ganz falsch ist, so

war ich nicht bemüht, diese Vorrichtung kennen zu lernen, obgleich auch ich glaube, dass seine Idee nicht ohne grossen Nutzen weiter verfolgt werden dürfte.

---

## Zweites Kapitel.

### *Bestimmung der Kohlensäure.*

Hat man bei der Ansammlung der ausgeathmeten Luft den oben gestellten Bedingungen genügt, dann erst darf man zur chemischen Untersuchung derselben schreiten; denn was hilft auch eine nach der genauesten analytischen Methode angestellte Untersuchung, wenn jenen ersten und wesentlichen Erfordernissen mangelhaft entsprochen wird? Darin liegt auch, wie ich glaube, die Ursache, dass die Wissenschaft arm ist an guten und aus einer gehörigen Anzahl von Beobachtungen bestehenden Arbeiten über die Mengenverhältnisse der Bestandtheile der ausgeathmeten Luft, wie auch die zahlreichen, in diesem Theile der Physiologie vorhandenen, Widersprüche fast mehr noch aus unpassenden Verfahrungsarten beim Ansammeln der Luft als aus den, allerdings nicht selten ebenfalls fehlerhaften, chemischen Untersuchungsmethoden entspringen.

Da ich hauptsächlich bedacht war, eine wo möglich grosse Reihe von Beobachtungen zu erhalten, so durfte zur Kohlensäurebestimmung kein weitläufiges Verfahren gewählt, also z. B. dieser Körper nicht dem Gewichte nach bestimmt werden. Die viel einfachere Bestimmung desselben dem Raume nach ist schon seit langer Zeit zu verschiedenen Zwecken, namentlich fast zuerst von *Fourcroy* und *von Humboldt*, zur Bestimmung des Kohlensäuregehaltes der atmosphärischen Luft angewandt worden. Letztere Frage lässt sich jedoch, wegen der verhältnissmässig sehr geringen in der Luft befindlichen Kohlensäuremenge, auf diesem

Wege kaum annähernd lösen, dagegen ist das genannte Verfahren zur Untersuchung der in der ausgeathmeten Luft enthaltenen bedeutenden Massen von Kohlensäure sehr brauchbar und bei grosser Einfachheit dennoch in hohem Grade zuverlässig. *Prout* bediente sich zu seiner Untersuchung über den Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft *) eines solchen Verfahrens, welches ich mit einigen, wie ich glaube wesentlichen und zur Vermeidung bedeutender Fehler unumgänglich nöthigen, Abänderungen beibehalten habe.

Ein Theil der in dem Exspirator befindlichen Luft wird behufs der Bestimmung der Kohlensäure in ein Instrument von folgender Einrichtung übergeleitet. Dasselbe — wir wollen es *Anthrakometer* nennen — besteht aus einer Kugel von Glas (Fig. 2 a.) von 2442 Kub. Centimeter Inhalt, die in eine $1^1/_2$ Meter lange, gleichmässig weite, 228 Kub. Cent. haltende, und nach letzterem Maasse genau graduirte Röhre (b) ausläuft, welche durch einen Hahn (c) luftdicht verschlossen, sowie auch auf das obere Ende des Exspirators nach Entfernung des auf letzterem befindlichen Mundstückes aufgeschraubt werden kann. Das Anthrakometer wird mit Kochsalzlösung gefüllt, auf den Exspirator geschraubt, so dass nach Oeffnung beider Hahne ein Theil der in dem Exspirator befindlichen Luft in das Anthrakometer übergeführt wird, während aus letzterem die Kochsalzlösung vollständig in den Exspirator abfliesst.

Man könnte das Anthrakometer, statt dasselbe mit Kochsalzlösung zu füllen, auch mittelst der Luftpumpe leer pumpen, was kaum etwas umständlicher, jedenfalls aber wegen Vermeidung der später zu erwähnenden Absorption der Kohlensäure durch die Kochsalzflüssigkeit vortheilhaft wäre. Damit das Abfliessen der Kochsalzlösung leicht erfolgt, darf der Durchmesser der Röhre des Anthrakometers nicht zu gering sein; bei meinem Instrumente beträgt der

*) *Schweigger's* Journal Bd. 15.

innere Durchmesser der Röhre 2 Centimeter. Die schon vorher abgekühlte Luft hat unterdessen, denn es sind in der Regel 8—10 Minuten seit der Füllung des Expirators verflossen, die Temperatur der äussern Luft angenommen *). Beide Hahnen werden sodann geschlossen, nachdem man sich vorher überzeugt hat, dass die den Exspirator jetzt zum Theil erfüllende Sperrflüssigkeit innerhalb und ausserhalb desselben genau auf gleicher Höhe steht; das Anthrakometer wird von dem Exspirator abgenommen und an ersteres eine mit flüssigem Aetzkali (Liq. Kali caustici) gefüllte kleine Flasche (Fig. 2 d) von beliebigem, z. B. 250 Kub. Cent. betragenden, Inhalt angeschraubt. Man öffnet den Hahn und bringt die Kalilösung mit der ausgeathmeten Luft in Berührung, wobei die Absorption der Kohlensäure durch Schütteln befördert wird. Nach einigen Minuten schraubt man, wenn die Kaliflüssigkeit vollständig aus dem Anthrakometer abgelaufen ist, nach vorheriger Schliessung des Hahnes die Aetzkaliflasche ab, taucht das Anthrakometer in ein gehörig tiefes, mit Wasser gefülltes Gefäss (wobei man sich hüten muss, den Apparat mit der blossen Hand zu fassen, da die in demselben enthaltene Luft durch die Wärme der Hand etwas ausgedehnt würde) und beobachtet, nach Oeffnung des Hahnes, die Höhe, bis zu welcher das Wasser in der Röhre aufsteigt, wobei das Wasser innerhalb und ausserhalb der Röhre genau im Niveau stehen muss. Eine Tabelle gibt die, auf 100 Raumtheile berechnete, Kohlensäuremenge an. Es versteht sich, dass dabei auf den am Anthrakometer befindlichen (je nach der Verschiedenheit des Instrumentes 1—2 Kub. Centimeter betragenden) schädlichen Raum Rücksicht genommen werden muss, so wie auch die kleinsten, unterdessen eingetretenen Schwankungen der Zimmerwärme nicht unbeachtet bleiben dürfen, da eine Aenderung von $^1/_{10}$ ° Cels. schon — wenn das Anthrakometer nach den oben angegebenen Verhältnissen angefertigt ist — einen Einfluss von $^3/_{100}$ %

*) Diese Abkühlung erfolgt schnell. Es wäre allerdings wünschenswerth, wenn man sich durch thermometrische Messung ohne grosse Umstände davon überzeugen könnte, was ich jedoch — wie auch *Prout* — bei dieser Vorrichtung nicht wohl bewerkstelligen konnte.

auf den Kohlensäurewerth hat. Barometrische Correctionen sind, da die Kohlensäurebestimmung in 15—18 Minuten fertig ist, kaum jemals nöthig. Die Füllung des Exspirators, überhaupt die ganze Arbeit, sammt den bei jedem einzelnen meiner Versuche aufgezählten sonstigen Beobachtungen, nimmt etwa ½ Stunde in Anspruch.

Vollkommen gesättigte Kochsalzlösung eignet sich, da so grosse Massen von Quecksilber wohl selten beigeschafft, auch in der That ohne Gefahr für die Gesundheit zu einer grossen Versuchsreihe nicht gebraucht werden können, am besten als Sperrflüssigkeit; denn ihr Vermögen, die Kohlensäure zu verschlucken, ist, wie *Saussure* *) zeigte, im Verhältniss zu vielen andern Flüssigkeiten sehr gering und sie steht hierin nur der Chlorcalciumlösung ein wenig nach. Das von *Prout* angewandte Brunnenwasser verschluckt viel mehr Kohlensäure und sollte desshalb nicht angewandt werden. Ohne Zweifel rühren die verhältnissmässig geringen Kohlensäurezahlen, welche *Prout* angibt, zum Theil von diesem Umstande her **). Der durch die Kochsalzlösung verursachte Kohlensäureverlust erscheint übrigens bei meinen Versuchen um so unbedeutender, wenn man die Kürze der Zeit, innerhalb welcher das Gas mit der Flüssigkeit in Berührung steht, erwägt, und wenn auch beim Aufsteigen der ausgeathmeten Luft durch die Röhre des Anthrakometers diese Absorption wegen innigerer und vielseitigerer Berührung des Gasgemisches mit der Flüssigkeit stärker ist, so muss sich der Verlust nach vollendeter Füllung des Anthrakometers wieder vollständig ausgleichen, indem die im Exspirator befindliche, viel grössere Gasquantität sich mit der Luft des Anthrakometers hinsichtlich der Mischung in Gleichgewicht setzt, was durch Drehen und gelindes Rütteln befördert wird.

---

*) *Berzelius*, Lehrb. der Chemie, Bd. I.

**) Eine zweite, bedeutende Fehlerquelle in den Versuchen von *Prout* liegt darin, dass er die ausgeathmete Luft in einer Blase ansammelte, durch deren höchst feine Poren nothwendig ein gegenseitiger Austausch zwischen der atmosphärischen und der in der Blase enthaltenen Luft erfolgen musste. Damals waren die interessanten Erscheinungen der Diffusion der Gase freilich nur sehr unvollständig gekannt.

Durch mehrere Versuche überzeugte ich mich in der That, dass die Absorption der in der ausgeathmeten Luft enthaltenen Kohlensäure durch Kochsalzlösung höchst unbedeutend sein muss. Es wurde eine genau gemessene Menge von ausgeathmeter Luft in eine Eudiometerröhre übergeleitet und einige Minuten mit Kochsalzlösung geschüttelt, ohne dass ich auch nur die geringste Raumverminderung in dem Gasgemische wahrnehmen konnte. Die nicht unbedeutende Zahl von Doppelanalysen, welche in der Versuchsreihe mitgetheilt sind, sprechen ebenfalls gegen die Annahme einer hierin liegenden erheblichen Fehlerquelle; denn wenn sie auch — wie sich das von selbst versteht — Abweichungen von einander zeigen, so sind doch die bei der zweiten Analyse gefundenen Kohlensäurewerthe nur sehr wenig, d. h. durchschnittlich kaum $^1/_{10}$ % niederer, als die bei der ersten Untersuchung erhaltenen Zahlen.

Ich glaube demnach, gestützt auf vielfältige Beobachtungen, für das von mir angewandte Verfahren einen grossen Grad von Genauigkeit in Anspruch nehmen zu dürfen. Es kommen allerdings, was bei der grossen Zahl von Untersuchungen nicht auffallen kann, Analysen vor, welche offenbar mehr oder minder starke Fehler zeigen; ich habe mir dabei aber keine Verbesserungen oder Auslassungen erlaubt, ein Verfahren, das, so häufig es auch geübt wird, gegen alle der Methode der Forschung zu Grunde liegende Logik verstösst, da zur genauesten Bestimmung der Mittelwerthe auch die weniger zuverlässigen Erfahrungen benützt werden können. Einige offenbar gänzlich missglückte Beobachtungen, deren Fehler ich erkannte, glaubte ich jedoch mit gutem Gewissen streichen zu müssen.

Durch das beschriebene Anthrakometer können bis $8^1/_2$ % Kohlensäure, also mehr, als selbst bei ungewöhnlich verändertem Athmen gebildet wird, aufgefunden werden. Ich habe mich auch einiger Anthrakometer von geringerem (selbst nur 900 Kub. Centimeter betragendem) Inhalte bedient, womit, da sie sich sehr schnell anfüllen lassen, recht bequem gearbeitet werden kann; doch bin ich immer zu demjenigen vom grössten Kaliber zurückgekommen, welches den grossen Vortheil hat, dass ein Beobachtungsfehler von einem

Grad (= 1 Kub. Centim.) hinsichtlich des Kohlensäurewerthes einen Irrthum von nur 0,037 % bedingt.

Wenn zu dem beschriebenen Verfahren auch eine vielseitige Uebung nöthig ist, und wenn man, um zu sichern Ergebnissen zu gelangen, die erwähnten, namentlich in der Ansammlung der Luft liegenden, Hindernisse durch lange Uebung überwinden lernen muss, so hat doch dasselbe, nach einmal erlangter Fertigkeit, grosse Vorzüge. Die Menge der gebildeten Kohlensäure kann dabei nicht nur für eine gewisse Zeit, sondern auch im Verhältniss zu der überhaupt ausgeathmeten Luft bestimmt werden, welche letztere Berechnung zur Lösung gar mancher Fragen von Wichtigkeit ist.

Viel schwieriger ist die Bestimmung des *Sauerstoffes;* nach zahlreichen, mit dem *Volta*'schen Wasserstoffgas-Eudiometer unter allen nur möglichen Vorsichtsmaassregeln angestellten, Versuchen gelangte ich zu der Ueberzeugung, dass man bei diesem Verfahren immer um 1 % irren kann, was für die Untersuchungen der ausgeathmeten Luft sehr bedeutend ist. Ich gestehe, dass ich gegen die grosse Genauigkeit, welche *Gay-Lussac* und *v. Humboldt* in ihrer klassischen Abhandlung über die eudiometrischen Mittel für dieses Verfahren in Anspruch nahmen, einige bescheidene Zweifel hegen muss, worin auch die Resultate bestärken, zu welchen bekanntlich diese berühmten Forscher über den Kohlensäuregehalt der Luft in von Menschen stark erfüllten Räumen gelangt sind. Da eine exakte Bestimmung der Sauerstoffquantitäten dem Volumen nach in der That unmöglich ist und die übrigen Methoden viel zu umständlich sind, so gab ich die Untersuchung des Sauerstoffes auf, da dieselbe mit zu bedeutendem Zeitverluste verknüpft ist, um zu einer auch nur einigermassen genügenden Zahl von Untersuchungen gelangen zu können.

Die überaus schwierige Frage über den *Stickstoffgehalt* der ausgeathmeten Luft kann mittelst unserer jetzigen Hülfsmittel vielleicht noch gar nicht entschieden werden. Wenn auch der Unterschied in dem Stickgasgehalte der ein- und ausgeathmeten Luft unbedeutend ist, so muss doch die geringste hier vorkommende Differenz, wenn man dieselbe auf die grosse Menge der in einem Tage gemachten Exspirationen bezieht, von bedeutendem Einflusse

sein. Die Untersuchung dieses Gegenstandes wäre von grossem Werthe und, da dieselbe nur mittelst der vollendetsten Hülfsmittel möglich ist, eine schöne Aufgabe für die analytische Chemie.

---

## Drittes Kapitel.

*Bestimmung der ausgeathmeten Wassermenge.*

Meinen anfänglichen Plan, die ausgeathmete *Wassermenge* durch Chlorcalcium oder einen andern, zum Wasser grosse Verwandtschaft zeigenden Stoff zu bestimmen, gab ich bald auf, da die ausgeathmete Luft beim Strömen durch eine etwas längere, mit den genannten Stoffen gefüllte, Röhre nothwendig auf Hindernisse stossen muss, welche, wenn auch noch so unbedeutend, den Experimentirenden belästigen und nicht unerhebliche Fehler veranlassen können. Ich musste mich daher nach einem andern Verfahren umsehen. Schon *Lavoisier* und *Seguin* *) machten darauf aufmerksam, dass die eingeathmete Luft in Folge ihrer Erwärmung das Vermögen besitzt, die die Luftröhrenäste überziehende Feuchtigkeit in Gasform aufnehmen und so dem Körper eine grosse Menge Wasser entziehen zu können. Dieser Gedanke des unsterblichen Mannes wurde jedoch erst in neuester Zeit von *Valentin* gehörig gewürdigt und von demselben (in seinem Lehrbuche der Physiologie) zur Bestimmung der ausgeathmeten Wassermenge benützt. Das Verfahren ist folgendes: Die in der atmosphärischen Luft auf irgend eine Weise, z. B. aus den Psychrometerbeobachtungen, gefundene Feuchtigkeitsmenge wendet man zur Bestimmung der Wasserquantität an, welche in der innerhalb einer gewissen Zeit, z. B. einer Minute, eingeathmeten Luftmenge enthalten ist, indem man die bei der Füllung des Exspirators gefundenen Volumverhältnisse der Aus-

---

*) Premier mémoire sur la transpiration des animaux. Mém. de l'acad. des sciences. Paris 1797. P. 603.

athmungen auch auf die Einathmungen bezieht *). Wenn man nun von der Annahme ausgeht, dass, wenigstens bei den gewöhnlichen, d. h. gehörig langsam erfolgenden, Exspirationen die ausgeathmete Luft die Wärme des Körpers angenommen hat und dass sie zugleich vollständig mit Wassergas gesättigt ist, so lässt sich aus der, für die verschiedenen Wärmegrade genau bekannten, Capacität der Luft für Wasserdämpfe und aus der innerhalb einer gewissen Zeit ausgeathmeten Luftmenge die durch das Athmen dem Körper entzogene Wassermenge berechnen, wenn man von dem überhaupt ausgeathmeten Wasser die schon in der eingeathmeten Luft befindlichen Quantitäten des Wassergases abzieht.

Ich hätte, da mir von Beobachtung 228 an genaue Psychrometerbeobachtungen zu Gebote stehen, diese Betrachtungsweise zur Berechnung der in einer Minute ausgeschiedenen Wasserquantität für jede einzelne Beobachtung wirklich durchgeführt, wenn ich Musse und die nöthigen Hülfsmittel gehabt hätte, mir über einige Bedenken, die sich hier aufdringen müssen, durch das Experiment Aufklärung zu verschaffen. Der Beweis ist nämlich noch gar nicht geliefert, dass die ausgeathmete Luft unter allen Verhältnissen mit Wassergas vollständig gesättigt ist, und das Experiment hat vorher die Frage zu beantworten, ob vielleicht die verschiedene Dauer der Athembewegungen auf den Wassergehalt der in den Lungen enthaltenen Luft von Einfluss ist, indem es a priori allerdings nicht ganz unwahrscheinlich ist, dass mit längerem Verweilen der Luft in den Lungen der Wassergehalt so lange zunimmt, bis die voll-

*) Diess kann füglich und ohne dass man einen bedeutenden Irrthum zu befürchten hat, geschehen. Allerdings fehlen vergleichende Experimente über die Volumverhältnisse der ein- und ausgeathmeten Luft; erhebliche Unterschiede können aber unmöglich stattfinden. Jedenfalls verdienen die betreffenden Angaben einiger ältern Forscher kein Vertrauen, da sie aus ganz unzweckmässigen Methoden entsprungen sind. Der Gegenstand erweist sich übrigens bei näherem Nachdenken als so schwierig, dass ich mir die Möglichkeit einer genauen Beantwortung kaum denken kann. Eine Volumverminderung der exspirirten Luft hat *Marchand* (Ueber die Respiration der Frösche. Journ. f. prakt. Chemie. 1844. Bd. 33) bei seinen Versuchen an Fröschen nachgewiesen.

ständige Sättigung erfolgt ist. Es treten vielleicht hier dieselben merkwürdigen Gesetze auf, welche wir im vierten Abschnitte hinsichtlich des Einflusses der Dauer der Athembewegungen auf den Kohlensäuregehalt der exspirirten Luft werden kennen lernen. Ausserdem müssen auch die — in der Norm freilich nur geringen und nach ihren Gesetzmässigkeiten leider noch völlig unbekannten — Temperaturschwankungen der ausgeathmeten Luft Verschiedenheiten in der Verdampfung der befeuchteten Wände der Athemorgane bedingen, welche eine genaue Forschung nicht wohl übersehen darf.

Desshalb leiste ich auf die Berechnung der exspirirten Wassermengen vorläufig Verzicht, bis ich über die erwähnten Präliminarfragen mir vollständige Auskunft verschafft habe, indem ich mich nicht der Gefahr aussetzen will, eine zeitraubende und mühsame Arbeit möglicher Weise unnöthig zu unternehmen. Die Lösung der eben angedeuteten Fragen und deren unmittelbare Anwendung auf die Berechnung des Wasserverlustes durch die Respiration soll übrigens eine meiner ersten Aufgaben sein, die ich mir für die Zukunft vorbehalten habe.

# Zweiter Abschnitt.

## *Beobachtungen und Experimente über das Athmen, mit besonderer Rücksicht auf den Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft.*

> La science ne possède jusqu'à présent que quelques résultats épars et tout individuels, qui ont quelquefois conduit à des évaluations en apparence du moins contradictoires; mais elle manque d'un travail d'ensemble, qui résulte d'expériences assez nombreuses et assez variées pour permettre de s'élever à l'institution de quelques principes généraux.
>
> *Andral* et *Gavarret*, recherches sur la quantité d'acide carbonique exhalé par le poumon dans l'espèce humaine, P. 6.

---

## Erstes Kapitel.

### *Einige zum Verständnisse der Beobachtungen nöthige Vorbemerkungen.*

Die hier mitgetheilten 578 Beobachtungen zerfallen in zwei Theile; von Nr. 1 — 227 ist die ausgeathmete Kohlensäure bloss in ihren procentigen Verhältnissen angegeben, wogegen von Nr. 228 an auch auf die absolute, d. h. innerhalb einer gewissen Zeit gebildete, Kohlensäuremenge Rücksicht genommen ist, was ich erst nach vorhergegangener langer Uebung thun konnte, da Irrthümer in der Ansammlung der exspirirten Luft auf die Berechnung der absoluten Kohlensäurequantität einen höchst störenden Einfluss ausüben.

Man wird mir keine Ueberschätzung der Genauigkeit meiner Untersuchungsmethode vorwerfen, weil ich die Kohlensäure bis auf $^1/_{10000}$ der ausgeathmeten Luft berechne, indem die in einer Minute ausgeschiedene Kohlensäurequantität bis auf $^1/_{100}$ Kubikcentimeter angegeben ist. Bei der grossen Zahl von Beobachtungen, die ich angestellt habe, muss den aus denselben gezogenen Mittelwerthen ein grosser Grad von Genauigkeit zukommen, so dass die etwas weit gehende Berechnung bei jeder einzelnen Beobachtung nicht nur gerechtfertigt, sondern selbst unumgänglich erforderlich ist.

Sämmtliche Beobachtungen sind mit fortlaufenden Nummern versehen. Die im Verlaufe der Schrift (fast durchgängig im vierten Abschnitte) vorkommenden Experimente tragen, da die bei denselben ausgeschiedenen Kohlensäurequantitäten mit denjenigen Mengenverhältnissen verglichen werden mussten, welche unter den gleichzeitigen, normalen Verhältnissen gebildet wurden, die den correspondirenden normalen Beobachtungen zukommenden Nummern und sind ausserdem noch mit Buchstaben (a, b, c) bezeichnet.

Die Kohlensäure ist, um Weitläufigkeiten zu vermeiden, bloss nach ihren Volumverhältnissen angegeben. Dieselben sind, so wie auch die Volumina der überhaupt ausgeathmeten Luft, auf + 37° C. berechnet, da dieses ungefähr die Temperatur der exspirirten Luft ist, wobei man noch den Vortheil hat, die zugleich ausgeathmeten Wassermengen einfach berechnen zu können, wenn man anders von der Voraussetzung ausgeht, dass die ausgeathmete Luft vollkommen mit Wassergas gesättigt ist. Auf die unbedeutenden Differenzen, welche hinsichtlich ihrer durch die Wärme erfolgenden Ausdehnung zwischen der atmosphärischen Luft und dem kohlensauren Gase von *Magnus* und *Regnault* in neuester Zeit aufgefunden wurden, glaubte ich keine Rücksicht nehmen zu müssen. Bei Zugrundelegung des wahren Ausdehnungscoëfficienten des kohlensauren Gases würde nämlich nur eine sehr unbedeutende Aenderung des Resultates erfolgen, welche nicht einmal die Mühe der Rechnung lohnen würde. In der Rubrik der procentigen Kohlensäure kommen öfters Doppelanalysen vor; der aus denselben gezogene

Mittelwerth ist grösser gedruckt, auch ist derselbe zur Berechnung der absoluten Kohlensäuremengen benützt.

Die Temperaturangaben beziehen sich auf die Zimmerwärme bei geschlossenen Fenstern. Die Beobachtungen über die Pulsfrequenz und über die in einer Minute vollführten Exspirationen sind in *vollkommen ruhigem* Zustande, während des Sitzens, gemacht worden. Die im Verhältniss zu andern Angaben sehr geringen Respirationsfrequenzen sind das Ergebniss der genauesten Beobachtungen *).

Die Rubrik „Bemerkungen" enthält mehrere für die Beurtheilung der ausgeathmeten Kohlensäuremengen nöthige Daten, namentlich über die Mahlzeiten und über vorhergegangene Körperbewegung. Da die Mittagsmahlzeiten regelmässig von $12^h\ 30'$ bis $1^h$ dauerten, so habe ich diese Notizen, um die vielen Wiederholungen zu vermeiden, ausgelassen, wenn anders das Essen nicht länger, als die eben erwähnte Zeit hindurch, währte und ich, hinsichtlich der eingenommenen Getränke und Speisen, weder quantitativ noch qualitativ von der Gewohnheit abwich.

Es wird nicht unnütz sein, wenn ich hier einiger meiner individuellen Verhältnisse erwähne. Beim Beginne der Versuchsreihe war ich 25 Jahre alt; ich bin blass, ziemlich mager, 59 Kilogramme schwer, von mittlerer Grösse; seit vielen Jahren von jeder irgend erheblichen Krankheit verschont geblieben, obschon ich nicht selten an unbedeutenden, schnell vorübergehenden Gesundheitsstörungen leide; die von mir excernirte Urinmenge ist eher über, als unter dem Mittel; die Haut ist nicht leicht zu Schweissen geneigt. Die durch viele Hunderte von Beobachtungen, bei einem durchschnittlichen Thermometerstande von $15°,4$ C. und einer mitt-

*) Ohne vorhergegangene Uebung, wodurch der anfangs sehr störende Einfluss der Aufmerksamkeit auf das Athmen nach und nach beseitigt wurde, hätte ich auch grössere Respirationsfrequenzen erhalten. Doch will ich nicht läugnen, dass hier andere Individualitäten, die ein grösseres Athembedürfniss haben, bedeutende Abweichungen zeigen können. So zählte ich z. B. bei einem gegenwärtig vollkommen gesunden, aber höchst

leren Barometerhöhe von 333,9 pariser Linien *), gefundenen Mittelwerthe meiner respiratorischen Funktionen sind: Zahl der Exspirationen in einer Minute $11^{9}/_{10}$; Pulsfrequenz in derselben Zeit $75^{52}/_{100}$; Volum einer Exspiration 507 Kub. Cent. (reducirt auf + 37° C. und 336 pariser Linien Barometerstand, welche Reduktion auch auf *alle andern*, in dieser Schrift vorkommenden, *Luftvolumina* zu beziehen ist); in einer Minute ausgeathmete Luft: 6034 Kub. Cent.; in der nämlichen Zeit ausgeathmete Kohlensäure: 261,52 Kub. Cent.; Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft: 4,334 % (dem Volum nach); Volum der angestrengtesten Exspiration nach vorhergegangener normaler Inspiration: 1800 Kub. Cent., woraus sich für den Zustand der Ruhe der gesammte Luft-

---

phthisisch gebauten jungen Manne sogar während des Schlafes gegen 20 Athemzüge in der Minute. Im wachenden Zustande mochte ich andere Menschen nicht beobachten, da sie unwillkührlich alsdann schneller athmen. Es ist übrigens nicht unwahrscheinlich, dass Leute mit starker Respirationsfrequenz oberflächlichere Athembewegungen machen.

*) Der mittlere Barometerstand meines Wohnortes beträgt 334‴,04; die mittlere Temperatur 12°,3 C. Der mittlere Barometerstand während meiner Beobachtungen weicht demnach nur ganz wenig von dem durch langjährige Beobachtungen für Karlsruhe gefundenen mittlern Luftdruck ab; so wie auch die Lufttemperatur von 15°,4 C. so ziemlich das Mittel sämmtlicher, selbst innerhalb eines grossen Zeitraumes, z. B. eines Jahres, auf mich wirkenden Temperatureinflüsse darstellen wird, da wir ja, namentlich im Winter, in unsern Wohnungen uns den Einflüssen der Atmosphäre entziehen. Ich darf desshalb vielleicht einen Grund weiter zu der Annahme haben, dass die angegebenen Durchschnittswerthe — da sie unter den mittlern Wirkungsgrössen von, unsern Organismus so mächtig afficirenden, Einflüssen beobachtet wurden — der Wahrheit nahe kommen. Nochmals muss ich aber darauf aufmerksam machen, dass sämmtliche Beobachtungen im Zustande der vollkommensten Ruhe angestellt wurden, dass sie von meinen Zuständen während des Schlafes und während körperlicher Bewegung bedeutend differiren und somit z. B. zur Berechnung der von mir innerhalb eines Tages ausgeschiedenen Kohlensäuremenge nur unter gewissen Voraussetzungen benützt werden können.

gehalt meiner Athemorgane auf etwa 2400 Kub. Cent. berechnet *).

*) Ich darf hier nicht übergehen, dass zu der Aufstellung dieser Mittelwerthe sämmtliche Beobachtungen verwendet wurden, wodurch, da die Stunden von 11 bis 3 Uhr, sowie die Sommermonate vorzugsweise repräsentirt sind, der Einfluss dieser beiden Momente etwas zu stark sich geltend macht. Dieses wurde bei späteren Untersuchungen, namentlich bei denen über die Wirkung der Wärme, vermieden, und es stellt demnach die zweite Tabelle des den ebengenannten Gegenstand abhandelnden Kapitels vielleicht richtigere Mittelwerthe dar.

# Zweites Kapitel.

*Versuchsreihe.*

| Nr. | Tag | Stunde | Pulsschläge in 1 Minute | Athmungen in 1 Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft | Temperatur (in Cels. °) | Barometer (in pariser Linien) reducirt auf 0° Wärme. | Witterung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1843 | Nacht | | | | | | |
| 1 | 8 Mai | 1h30′ | 78 | 11 | 3,93 | 23°,9 | 327‴,7 | Regen |
| | | Morg. | | | | | | |
| 2 | „ | 9h30′ | | | 4,18 | 22°,5 | 327‴,3 | „ |
| 3 | „ | 11h45′ | | | 4,43 | 22°,6 | 327‴,2 | „ |
| 4 | „ | 1h18′ | 95 | 15 | 4,17 | 22°,6 | 327‴,2 | „ |
| 5 | „ | 2h30′ | | | 3,58 | 22°,6 | 327‴,3 | „ |
| 6 | „ | 3h30′ | 91 | | 3,80 | 22°,6 | 327‴,3 | „ |
| 7 | „ | 4h30′ | | | 3,87 | 22°,6 | 327‴,4 | „ |
| | | Nacht | | | | | | |
| 8 | 9 Mai | 2h5′ | 70 | 11 | 4,33 | 22°,2 | 328‴,5 | „ |
| 9 | „ | 10h23′ | | 12 | 4,66 | 21°,4 | 329‴,3 | trüb |
| 10 | „ | 10h53′ | | | 4,46 | 21°,4 | 329‴,3 | „ |
| 11 | „ | 11h51′ | 80 | 13 | 4,43 | 21°,4 | 329‴,6 | „ |
| 12 | „ | 1h45′ | 88 | 14 | 4,35 | 21°,3 | 329‴,8 | „ |
| 13 | „ | 3h14′ | 90 | 14 | 4,40 | 21°,3 | 329‴,8 | „ |
| 14 | „ | 6h3′ | 86 | 14 | 4,63 | 21°,1 | 330‴,3 | „ |
| 15 | „ | 7h3′ | 83 | 14 | 4,20 | 21°,0 | 330‴,4 | „ |
| 16 | „ | 8h20′ | 79 | 12 | 3,94 | 21°,0 | 330‴,6 | „ |

## Bemerkungen.

Zu Nr. 1. Seit 2 Stunden geschlafen.
2. Von 7h30′ bis 8h45′ leichte Bewegung.
8. Seit 3 Stunden geschlafen.
9. Von 7h15′ bis 9h leichte Bewegung.
14. Von 4h—5h geritten. Etwas müde.

| Nr. | Tag | Stunde | Puls in 1 Minute | Ausathmungen in 1 Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. | Temperatur nach Cels. | Barometer (paris. ‴) | Witterung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1843 | | | | | | | |
| 17 | 9 Mai | 9h48′ | 77 | 12 | 3,85 | 21°,0 | 330‴,7 | trüb |
| | | Nacht | | | | | | |
| 18 | 10Mai | 1h22′ | 67 | 11 | 5,02 | 20°,8 | 330‴,8 | „ |
| 19 | „ | 10h8′ | 76 | 14 | 4,40 | 19°,5 | 332‴,3 | „ |
| 20 | „ | 12h0′ | 73 | 12 | 4,76 | 19°,6 | 332‴,3 | „ |
| 21 | „ | 3h50′ | 90 | 14 | 4,13 | 19°,6 | 332‴,6 | „ |
| 22 | „ | 6h15′ | 88 | 11 | 4,27 | 19°,5 | 332‴,8 | Regen |
| 23 | „ | 7h48′ | 83 | 12 | 4,27 | 19°,4 | 333‴,3 | „ |
| 24 | „ | 10h0′ | 72 | 12 | 4,53 | 19°,4 | 333‴,1 | „ |
| 25 | 11Mai | 6h18′ | 68 | 11 | 5,27 | 19°,2 | 334‴,8 | heiter |
| 26 | „ | 10h4′ | 76 | 11 | 5,06 | 18°,3 | 334‴,9 | „ |
| 27 | „ | 11h4′ | 77 | 11 | 5,06 | 18°,4 | 334‴,9 | „ |
| 28 | „ | 12h8′ | 65 | | 4,74 | 18°,7 | 334‴,9 | „ |
| 29 | „ | 1h7′ | 77 | 14 | 4,49 | 18°,8 | 334‴,9 | „ |
| 30 | „ | 2h16′ | 83 | 14 | 3,96 | 18°,8 | 334‴,9 | „ |
| 31 | „ | 4h12′ | 83 | 14 | 4,99 | 18°,8 | 335‴,0 | „ |
| 32 | „ | 5h15′ | 68 | 12 | 4,90 | 18°,8 | 335‴,0 | „ |
| 33 | „ | 7h3′ | 68 | 13 | 4,59 | 18°,9 | 334‴,9 | „ |
| 34 | „ | 8h10′ | 61 | 12 | 4,20 | 18°,8 | 335‴,0 | „ |

## Bemerkungen.

Zu Nr. 17. 8h45′ Essen.

18. Seit 3 Stunden geschlafen.

19. 7h30′ bis 9h leichte Bewegung.

20. Vorher 20 Minuten lang geschlafen.

21. Von 1h—2h ungewöhnlich starke Mahlzeit. Dabei 1½ Schoppen stärkeren Wein und gegen ½ Flasche Champagner getrunken.

22. 4h30′ bis 5h30′ abwechselnd Bewegung und Ruhe.

24. 8h30′ Essen.

25. ½ Stunde nach dem Erwachen.

26. 7h30′ bis 8h10′ mässige Bewegung.

31. 3h—4h geschlafen.

| Nr. | Tag | Stunde | Puls in 1 Minute | Ausathmungen in 1 Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. | Temperatur nach Cels. | Barometer (paris, ‴) | Witterung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1843 | | | | | | | |
| 35 | 11 Mai | 9h53′ | 61 | 12 | 4,40 | 18°,7 | 335‴,1 | heiter |
| 36 | „ | 11h3′ | 60 | 12 | 4,86 | 18°,8 | 335‴,3 | „ |
| | | Nacht | | | | | | |
| 37 | 12 Mai | 12h4′ | 62 | | 4,23 | 18°,9 | 335‴,3 | „ |
| 38 | „ | 6h0′ | 57 | 11 | 4,96 | 18°,8 | 335‴,6 | „ |
| 39 | „ | 10h0′ | 70 | 11 | 4,60 | 18°,3 | 335‴,6 | „ |
| 40 | „ | 10h40′ | 73 | 13 | 4,63 | 18°,4 | 335‴,6 | „ |
| 41 | „ | 11h30′ | 78 | | 4,17 | 18°,5 | 335‴,5 | „ |
| 42 | „ | 12h11′ | 81 | 12 | 4,40 | 18°,8 | 335‴,3 | „ |
| 43 | „ | 1h35′ | 84 | 12 | 4,00 | 18°,8 | 335‴,1 | „ |
| 44 | „ | 10h33′ | 63 | 14 | 4,50 | 18°,9 | 334‴,5 | „ |
| | | Nacht | | | | | | |
| 45 | 13 Mai | 1h23′ | 61 | 11 | 4,19 | 19°,1 | 333‴,9 | bewölkt |
| | | Morg. | | | | | | |
| 46 | „ | 6h24′ | 60 | 10 | 4,73 | 19°,2 | 333‴,6 | „ |
| | | Abend | | | | | | |
| 47 | 31 Mai | 7h22′ | 80 | 12 | 4,79 | 22°,7 | 333‴,1 | „ |
| 48 | „ | 10h4′ | 75 | 11 | 4,90 | 21°,4 | 333‴,1 | „ |
| 49 | „ | 11h5′ | 71 | 12 | 4,66 | 21°,4 | 333‴,9 | „ |

## Bemerkungen.

Zu Nr. 35. 9h Essen.

37. Vorher nicht geschlafen.

38. ½ Stunde nach dem Erwachen.

39. 7h30′—9h mässige Bewegung.

40. 10h30′ innerhalb 2 Minuten 1 Schoppen Wein getrunken.

44. Von 4h—7h starke Bewegung. 8h30′ Essen.

45. 20 Minuten nach dem Erwachen. (3 Stunden geschlafen.)

46. 48 Minuten nach dem Erwachen.

47. Seit 4h ruhig im Zimmer.

48. 9h Abendessen.

| Nr. | Tag | Stunde | Puls in 1 Minute | Ausathmungen in 1 Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. | Temperatur nach Cels. | Barometer (paris. ‴) | Witterung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1843 | Morg. | | | | | | |
| 50 | 1 Juni | 6h7′ | 66 | 11 | 5,15 | 21°,6 | 332‴,5 | heiter |
| 51 | „ | 7h16′ | 73 | 11 | 4,65 | 21°,6 | 332‴,5 | „ |
| 52 | „ | 9h17′ | 68 | 11 | 4,63 | 22°,0 | 332‴,1 | bewölkt |
| 53 | „ | 10h24′ | 66 | 10 | 4,59<br>4,64<br>4,54 | 22°,1 | 332‴,0 | „ |
| 54 | „ | 11h31′ | 68 | 10 | 4,44 | 22°,4 | 331‴,9 | „ |
| 55 | „ | 12h11′ | 72 | 11 | 4,72 | 22°,5 | 331‴,7 | „ |
| 56 | „ | 1h20′ | 85 | 12 | 4,27 | 22°,5 | 331‴,4 | „ |
| 57 | „ | 2h28′ | 83 | 12 | 4,50 | 22°,6 | 331‴,1 | „ |
| 58 | „ | 3h35′ | 80 | 11 | 4,40 | 22°,7 | 330‴,8 | „ |
| 59 | „ | 4h31′ | 79 | 11 | 4,57<br>4,53<br>4,60 | 23°,0 | 330‴,6 | heiter |
| 60 | „ | 5h37′ | 78 | 11 | 4,79 | 23°,0 | 330‴,4 | „ |
| 61 | „ | 6h35′ | 72 | 11 | 4,08<br>4,14<br>4,01 | 23°,0 | 330‴,3 | „ |
| 62 | „ | 7h38′ | 77 | 10 | 4,85 | 23°,1 | 330‴,3 | „ |
| 63 | „ | 8h23′ | 76 | 10 | 4,66 | 23°,2 | 329‴,9 | „ |
| 64 | „ | 9h45′ | 69 | 11 | 4,73 | 23°,2 | 329‴,6 | „ |
| | | Nacht | | | | | | |
| 65 | 2 Juni | 12h0′ | 60 | 10 | 4,75 | 23°,3 | 329‴,5 | „ |
| 66 | „ | 4h 7′ | 57 | 11 | 5,18 | 23°,4 | 329‴,5 | „ |
| 67 | „ | 5h19′ | 68 | 11 | 5,04 | 23°,5 | 329‴,4 | „ |

## Bemerkungen.

Zu Nr. 50. ½ Stunde nach Erwachen.
51. ½ Stunde nach dem Frühstück.
52. 7h45′—8h45′ leichte Bewegung.
57. 20 Minuten lang geschlafen.
64. 8h45′ Mahlzeit.
65. Vorher 1 Stunde geschlafen. Sehr schläfrig.
66. 20 Minuten nach Erwachen.

| Nr. | Tag | Stunde | Puls in 1 Minute | Ansathmungen in 1 Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. | Temperatur nach Cels. | Barometer (paris. ‴) | Witterung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1843 | | | | | | | |
| 68 | 2 Juni | $6^h30'$ | | | 4,92 | 23°,5 | 329‴,3 | heiter |
| 69 | „ | $7^h30'$ | 85 | 12 | 5,02 | 23°,8 | 329‴,1 | „ |
| 70 | „ | $8^h36'$ | 82 | 10 | 4,49 | 23°,9 | 329‴,1 | trüb |
| 71 | „ | $9^h43'$ | 70 | 10 | 4,90 | 24°,0 | 329‴,1 | unterbrochen heiter |
| 72 | „ | $10^h38'$ | 72 | 11 | 4,53 | 24°,0 | 329‴,1 | „ |
| 73 | „ | $11^h38'$ | 73 | 11 | 4,70 | 24°,2 | 329‴,1 | trüb |
| 74 | „ | $12^h18'$ | 78 | 11 | 4,95 | 24°,3 | 329‴,1 | „ |
| 75 | „ | $5^h42'$ | 78 | 11 | 4,80 | 24°,8 | 329‴,1 | „ |
| 76 | „ | $9^h45'$ | 84 | 10 | 3,88 | 24°,8 | 329‴,5 | „ |
| | | Nacht | | | | | | |
| 77 | 3 Juni | $2^h38'$ | 60 | 10 | 4,53 | 25°,0 | 328‴,0 | „ |
| 78 | „ | $3^h36'$ | 66 | 10 | 4,70 | 25°,0 | 328‴,0 | „ |
| 79 | „ | $6^h23'$ | 66 | 10 | 4,79 | 25°,0 | 328‴,0 | „ |
| 80 | „ | $7^h35'$ | 78 | 11 | 5,01 | 25°,1 | 328‴,0 | „ |
| 81 | „ | $9^h10'$ | 71 | 11 | 4,82 | 25°,1 | 328‴,6 | „ |
| 82 | „ | $10^h0'$ | 81 | 11 | 4,85 | 25°,4 | 328‴,6 | „ |
| 83 | „ | $11^h24'$ | 86 | 11 | 4,56 | 25°,5 | 328‴,6 | „ |
| 84 | „ | $12^h17'$ | 81 | 11 | 4,98 | 25°,5 | 328‴,6 | „ |
| 85 | „ | $3^h0'$ | 90 | 11 | 5,04 | 25°,5 | 328‴,6 | „ |

## Bemerkungen.

Zu Nr. 68. Vorher 20 Minuten geschlafen.

69. $6^h45'$ Frühstück.

75. $3^h$ bis $5^h15'$ abwechselnd leichte Bewegung.

76. $6^h$—$8^h30'$ mässige Bewegung. Um $7^h$ 1 Flasche Bier getrunken. $9^h$ Mahlzeit.

77. ¼ Stunde nach dem Erwachen. 3 Stunden vorher geschlafen.

78. In der Zwischenzeit ruhig gesessen.

79. Von $5^h$—$6^h$ geschlafen.

80. $6^h45'$ Frühstück.

85. $1^h30'$ bis $2^h30'$ leichte Bewegung.

| Nr. | Tag | Stunde | Puls in 1 Minute | Ausdünstungen in 1 Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. | Temperatur nach Cels. | Barometer (paris. ‴) | Witterung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1843 | | | | | | | |
| 86 | 3 Juni | 5h12′ | 83 | 11 | 5,10 | 25°,6 | 328‴,9 | trüb |
| 87 | „ | 7h27′ | 68 | 11 | 4,92 | 25°,6 | 329‴,5 | „ |
| | | Morg. | | | | | | |
| 88 | 4 Juni | 6h16′ | 60 | 10 | 5,04 | 25°,6 | 329‴,8 | „ |
| 89 | „ | 7h30′ | 69 | 10 | 4,92 | 25°,4 | 330‴,4 | Regen |
| 90 | „ | 8h28′ | 80 | 11 | 5,10<br>5,13<br>5,07 | 25°,5 | 330‴,1 | trüb |
| 91 | „ | 9h35′ | 74 | 10 | 4,30<br>4,33<br>4,27 | 25°,5 | 330‴,1 | „ |
| 92 | „ | 10h36′ | 77 | 11 | 4,62 | 25°,5 | 330‴,3 | „ |
| 93 | „ | 11h27′ | 68 | 11 | 4,50 | 25°,3 | 330‴,6 | „ |
| 94 | „ | 12h17′ | 66 | 11 | 5,27 | 25°,4 | 329‴,3 | „ |
| 95 | „ | 1h15′ | 79 | 12 | 4,36 | 25°,5 | 330‴,8 | „ |
| 96 | „ | 2h16′ | 90 | 13 | 3,34<br>3,42<br>3,26 | 25°,5 | 330‴,8 | heiter |
| 97 | „ | 3h23′ | 95 | 12 | 4,66 | 25°,5 | 330‴,8 | unterbrochen heiter |
| | | Nacht | | | | | | |
| 98 | 5 Juni | 12h16′ | 64 | 10 | 5,04 | 25°,2 | 331‴,4 | trüb |
| 99 | „ | 6h45′ | 60 | 10 | 5,11 | 25°,3 | 331‴,3 | Regen |
| 100 | „ | 10h41′ | 70 | 10 | 5,18 | 24°,2 | 331‴,6 | „ |
| | | Abend | | | | | | |
| 101 | „ | 9h38′ | 67 | 11 | 5,18 | 23°,5 | 332‴,2 | bewölkt |

## Bemerkungen.

Zu Nr. 88. 20 Minuten nach dem Erwachen.
89. 6h45′ Frühstück.
98. 2½ Stunden geschlafen. 20 Minuten nach Erwachen.
99. 12 Minuten nach Erwachen.
100. 7h15′ bis 9h mässige Bewegung.
101. Mittags meist Bewegung. 9h15′ Mahlzeit.

| Nr. | Tag | Stunde | Puls in 1 Minute | Ausathmungen in 1 Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. | Temperatur nach Cels | Barometer (paris. ‴) | Witterung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1843 | Nacht | | | | | | |
| 102 | 6 Juni | 12h37′ | 62 | 10 | 4,81 | 24°,0 | 332‴,1 | bewölkt |
| 103 | „ | 4h54′ | 59 | 9 | 4,92 | 24°,0 | 332‴,1 | „ |
| | | Morg. | | | | | | |
| 104 | „ | 7h3′ | 65 | 10 | 4,60 | 23°,9 | 332‴,2 | „ |
| | | Abend | | | | | | |
| 105 | „ | 10h0′ | 62 | 11 | 4,62 | 22°,0 | 332‴,1 | „ |
| | | Mittag | | | 4,17 | | | |
| 106 | 7 Juni | 4h49′ | 85 | 11 | 4,14 / 4,20 | 22°,8 | 332‴,4 | „ |
| 107 | „ | 9h30′ | 77 | 10 | 4,56 | 21°,5 | 333‴,0 | „ |
| | | Mittag | | | | | | |
| 108 | 8 Juni | 1h30′ | 70 | 11 | 4,36 | 21°,8 | 331‴,1 | „ |
| 109 | „ | 3h23′ | 90 | 11 | 4,95 / 4,96 / 4,93 | 21°,9 | 330‴,8 | „ |
| 110 | „ | 4h22′ | 75 | 10 | 4,72 / 4,74 / 4,70 | 22°,0 | 330‴,7 | „ |
| 111 | „ | 5h34′ | 87 | 9 | 4,34 | 21°,8 | 330‴,6 | „ |
| 112 | „ | 6h5′ | 83 | | 3,88 | 21°,9 | 330‴,5 | „ |
| 113 | „ | 6h35′ | | 10 | 4,49 | 21°,9 | 330‴,5 | „ |
| 114 | „ | 7h5′ | 73 | 10 | 4,01 | 21°,9 | 330‴,4 | „ |
| 115 | „ | 7h33′ | 72 | 10 | 4,03 | 21°,9 | 330‴,3 | „ |
| 116 | „ | 8h5′ | 72 | 9 | 4,42 | 21°,9 | 330‴,2 | „ |
| 117 | „ | 9h0′ | 78 | 9 | 4,60 | 21°,9 | 330‴,1 | „ |

## Bemerkungen.

Zu Nr. 102. Seit 1½ Stunden geschlafen.
103. ¼ Stunde nach Erwachen.
105. 9h Essen.
106. 3h—4h mässige Bewegung.
107. 8h45′ Essen.
117. 8h30′ Mahlzeit.

| Nr. | Tag | Stunde | Puls in 1 Minute | Athmungen in 1 Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. | Temperatur nach Cels. | Barometer (paris. ‴) | Witterung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1843 | | | | | | | |
| 118 | 8 Juni | 9h34′ | 82 | 9 | 4,70 | 21°,9 | 329‴,9 | bewölkt |
| | | Mittag | | | | | | |
| 119 | 9 Juni | 1h15′ | 80 | 11 | 4,46 | 21°,8 | 330‴,6 | „ |
| 120 | „ | 1h50′ | 88 | 11 | 4,54 | 22°,0 | 330‴,6 | „ |
| 121 | „ | 2h20′ | 90 | 11 | 4,40 | 22°,2 | 330‴,6 | heiter |
| 122 | „ | 2h49′ | | | 4,22 | 22°,2 | 330‴,6 | „ |
| 123 | „ | 5h30′ | 79 | 11 | 4,66 | 22°,0 | 330‴,5 | trüb |
| 124 | „ | 6h4′ | 68 | 10 | 4,60 | 22°,0 | 330‴,5 | „ |
| 125 | „ | 6h34′ | 73 | 10 | 4,38 | 22°,0 | 330‴,6 | „ |
| 126 | „ | 7h4′ | 74 | 9 | 4,08 | 22°,0 | 330‴,9 | „ |
| 127 | „ | 7h38′ | 66 | 9 | 4,36 | 22°,1 | 331‴,0 | Regen |
| 128 | „ | 8h14′ | 67 | 10 | 4,46 | 22°,1 | 331‴,1 | „ |
| 129 | „ | 9h35′ | 65 | 10 | 4,74 | 22°,1 | 331‴,1 | trüb |
| | | Nacht | | | | | | |
| 130 | 10 Juni | 12h26′ | 59 | 10 | 4,76 | 22°,1 | 331‴,4 | „ |
| 131 | „ | 1h36′ | 66 | 9 | 4,24 | 22°,1 | 331‴,4 | „ |
| 132 | „ | 2h30′ | 65 | 9 | 4,10 | 22°,1 | 331‴,5 | „ |
| | | Morg. | | | | | | |
| 133 | „ | 6h20′ | 59 | 10 | 4,38 | 22°,1 | 331‴,5 | „ |
| 134 | „ | 10h22′ | 65 | 10 | 4,31 | 21°,3 | 332‴,3 | Regen |
| 135 | „ | 2h0′ | 75 | 11 | 4,24 | 21°,4 | 332‴,3 | „ |
| 136 | „ | 5h40′ | 69 | 11 | 4,40 | 21°,4 | 332‴,2 | unterbrochen heiter |

## Bemerkungen.

Zu Nr. 123. 3h—4h45′ mässige Bewegung.

129. 8h40′ Essen.

130. 1½ Stunden geschlafen. 25 Minuten nach Erwachen.

131. Vorher nicht geschlafen.

132. 3 Stunden geschlafen. 20 Minuten nach dem Aufwachen.

134. 7h40′ bis 9h50′ leichte Bewegung.

136. 3h30′ bis 5h mässige Bewegung.

| Nr. | Tag | Stunde | Puls in 1 Minute | Ausathmungen in 1 Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. | Temperatur nach Cels. | Barometer (paris. ‴) | Witterung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1843 | | | | | | | |
| 137 | 10 Juni | 6h17′ | 86 | 10 | 4,45 | 21°,5 | 332‴,2 | unterbrochen heiter |
| 138 | „ | 7h0′ | 85 | 10 | 3,85 | 21°,5 | 332‴,2 | heiter |
| 139 | „ | 7h34′ | 88 | 10 | 3,88 | 21°,5 | 332‴,2 | „ |
| 140 | „ | 8h9′ | 85 | 9 | 4,00 | 21°,4 | 332‴,3 | „ |
| 141 | „ | 9h17′ | 88 | 10 | 3,94 | 21°,4 | 332‴,5 | trüb |
| | | Nacht | | | | | | |
| 142 | 11 Juni | 12h45′ | 56 | 9 | 4,81 | 21°,4 | 332‴,5 | Regen |
| 143 | „ | 7h38′ | 60 | 10 | 5,11 | 21°,5 | 332‴,4 | Regen, trüb |
| 144 | „ | 10h0′ | 69 | 9 | 4,60 | 20°,6 | 332‴,5 | „ |
| 145 | „ | 11h0′ | 60 | 10 | 4,98 | 20°,7 | 332‴,5 | „ |
| 146 | „ | 12h0′ | 62 | 11 | 4,98 | 20°,7 | 332‴,5 | „ |
| 147 | „ | 1h31′ | 79 | 12 | 4,25 | 21°,0 | 332‴,4 | trüb |
| 148 | „ | 2h25′ | 86 | 11 | 4,59 | 21°,0 | 332‴,3 | „ |
| 149 | „ | 3h42′ | 95 | 11 | 4,38 | 21°,1 | 332‴,4 | Regen |
| 150 | „ | 9h34′ | 58 | 12 | 4,88 | 20°,6 | 332‴,4 | trüb |
| | | Nacht | | | | | | |
| 151 | 13 Juni | 12h38′ | 53 | 9 | 4,79 | 20°,6 | 329‴,7 | heiter |
| 152 | „ | 1h39′ | 53 | 10 | 5,15 | 20°,6 | 329‴,7 | „ |
| 153 | „ | 2h38′ | 53 | 10 | 5,06 | 20°,6 | 329‴,6 | „ |
| | | Morg. | | | | | | |
| 154 | „ | 7h44′ | 66 | 11 | 4,80 | 20°,6 | 329‴,8 | „ |

## Bemerkungen.

Zu Nr. 137. 5h50′ bis 6h10′ 3 Schoppen ziemlich starkes Bier getrunken.

141. 8h30′ Mahlzeit.

142. 2½ Stunden geschlafen. 15 Minuten nach Erwachen. Sehr schläfrig.

143. 25 Minuten nach Erwachen. Kurz vorher gefrühstückt.

144. 8h—9h30 Bewegung.

150. 8h45′ Mahlzeit.

151. 1½ Stunden geschlafen. ¼ Stunde nach Erwachen.

154. Seit 3h30′ geschlafen. 10 Minuten nach Erwachen.

| Nr. | Tag | Stunde | Puls in 1 Minute | Ausathmungen in 1 Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. | Temperatur nach Cels. | Barometer (paris. ‴) | Witterung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1843 | | | | | | | |
| 155 | 13 Juni | 10h33′ | 65 | 10 | 5,18 | 20°,4 | 330‴,1 | bewölkt |
| 156 | „ | 1h3′ | 73 | 11 | 4,24 | 20°,6 | 330‴,2 | „ |
| 157 | „ | 2h10′ | 88 | 11 | 4,64 | 20°,8 | 330‴,3 | „ |
| 158 | „ | 3h52′ | 83 | 12 | 4,69 | 20°,8 | 330‴,4 | „ |
| 159 | „ | 5h3′ | 71 | 10 | 4,75 | 21°,0 | 330‴,5 | „ |
| 160 | „ | 6h4′ | 69 | 11 | 4,83 | 21°,0 | 330‴,5 | „ |
| 161 | „ | 7h3′ | 68 | 10 | 4,53 | 21°,0 | 330‴,6 | „ |
| 162 | „ | 8h7′ | 65 | 10 | 4,28 | 21°,0 | 330‴,8 | „ |
| 163 | „ | 9h35′ | 59 | 11 | 4,61 | 20°,8 | 331‴,1 | „ |
| | | Mittag | | | | | | |
| 164 | 15 Juni | 2h0′ | 86 | 11 | 4,38 | 22°,4 | 330‴,6 | „ |
| 165 | „ | 5h0′ | 69 | 10 | 4,53 | 22°,6 | 330‴,2 | „ |
| | | Abend | | | | | | |
| 166 | 16 Juni | 6h4, | 68 | 10 | 4,33 | 24°,2 | 330‴,6 | heiter |
| 167 | „ | 7h6′ | 68 | 10 | 4,44 | 24°,1 | 330‴,5 | „ |
| 168 | „ | 8h8′ | 67 | 10 | 3,75 | 24°,0 | 330‴,9 | „ |
| | | Nacht | | | | | | |
| 169 | 17 Juni | 4h46′ | 60 | 9 | 5,10 | 23°,9 | 331‴,8 | „ |
| | | | | | 4,39 | | | |
| 170 | „ | 5h54′ | 63 | 9 | 4,39<br>4,38 | 23°,9 | 331‴,9 | „ |
| | | Nachm. | | | | | | |
| 171 | „ | 3h43′ | 84 | 10 | 4,03 | 25°,9 | 332‴,2 | „ |
| 172 | 18 Juni | 6h25′ | 67 | 10 | 4,98 | 25°,2 | 332‴,8 | „ |

## Bemerkungen.

Zu Nr. 155. 7h30′ bis 9h40′ mässige Bewegung.

158. 2h40′ bis 3h40′ ziemlich starke Bewegung.

163. 8h30′ Essen.

169. 6 Stunden geschlafen. 10 Minuten nach Erwachen.

172. 6h10′ Frühstück.

| Nr. | Tag | Stunde | Puls in 1 Minute | Ausathmungen in 1 Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. | Temperatur nach Cels. | Barometer (paris. ‴) | Witterung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1843 | | | | | | | |
| 173 | 18 Juni | 2h25′ | 89 | 10 | 3,70 | 28°,1 | 331‴,9 | heiter |
| | | Nachm. | | | | | | |
| 174 | 20 Juni | 1h30′ | 86 | 11 | 4,73 | 20°,5 | 332‴,3 | unterbrochen heiter |
| | | | | | 4,54 | | | |
| 175 | „ | 2h30′ | 101 | 10 | 4,59 / 4,49 | 20°,7 | 332‴,4 | „ |
| | | | | | 4,68 | | | |
| 176 | „ | 3h30′ | 88 | 10 | 4,64 / 4,72 | 20°,7 | 332‴,5 | „ |
| 177 | 22 Juni | 12h | | 10 | 4,40 | 20°,3 | 333‴,1 | trüb |
| 178 | „ | 1h15′ | 78 | 11 | 4,21 | 20°,8 | 332‴,9 | „ |
| 179 | „ | 2h16′ | 89 | 11 | 4,03 | 20°,5 | 332‴,9 | unterbrochen heiter |
| 180 | „ | 3h | 76 | 11 | 3,96 | 20°,9 | 332‴,9 | trüb |
| 181 | „ | 5h30′ | 72 | 11 | 4,20 | 20°,3 | 332‴,7 | abwechselnd heiter |
| 182 | „ | 6h30′ | 70 | 11 | 3,83 | 20°,2 | 332‴,7 | „ |
| 183 | „ | 7h30′ | 67 | 10 | 4,25 | 20°,2 | 332‴,7 | „ |
| 184 | „ | 9h30′ | 70 | 10 | 4,62 | 19°,6 | 332‴,7 | trüb |
| 185 | „ | 10h30′ | 61 | 10 | 4,66 | 20°,1 | 332‴,7 | „ |
| 186 | 23 Juni | 12h | 71 | 10 | 4,29 | 19°,7 | 333‴,2 | heiter |
| 187 | „ | 1h30′ | 80 | 10 | 4,14 | 20°,1 | 333‴,1 | „ |
| 188 | „ | 2h35′ | 87 | 12 | 4,12 | 20°,1 | 332‴,9 | „ |
| 189 | „ | 3h30′ | 86 | 10 | 4,06 | 20°,2 | 332‴,8 | „ |
| 190 | „ | 4h30′ | 85 | 10 | 4,33 | 20°,2 | 332‴,8 | „ |
| 191 | „ | 5h30′ | 85 | 9 | 4,70 | 20°,2 | 332‴,8 | „ |

## Bemerkungen.

Zu Nr. 177. Seit 11h ruhig zu Hause.

181. 3h30′—4h30′ schwache Bewegung.

184. 9h Mahlzeit.

186. Den Morgen hindurch wenig Bewegung. — Vorläufer einer leichten Angina tonsillaris.

| Nr. | Tag | Stunde | Puls in 1 Minute | Ausathmungen in 1 Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. | Temperatur nach Cels. | Barometer (paris. ‴) | Witterung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1843 | | | | | | | |
| 192 | 23 Juni | 6h30′ | 73 | 9 | 4,37 | 20°,2 | 332‴,8 | trüb |
| 193 | „ | 7h30′ | 76 | 10 | 3,90 | 20°,1 | 332‴,8 | „ |
| 194 | „ | 8h | 76 | 10 | 3,67 | 20°,2 | 332‴,9 | „ |
| 195 | „ | 9h | 72 | 10 | 3,72 | 20°,3 | 332‴,9 | „ |
| 196 | 24 Juni | 12h | 69 | 10 | 4,10 | 19°,0 | 332‴,5 | „ |
| 197 | „ | 2h30′ | 88 | 11 | 3,68 | 19°,5 | 332‴,1 | „ |
| 198 | „ | 3h30′ | 103 | 10 | 3,60 | 19°,7 | 331‴,9 | „ |
| 199 | „ | 4h30′ | 95 | 10 | 4,41<br>4,40<br>4,43 | 19°,6 | 331‴,8 | „ |
| 200 | „ | 5h30′ | 86 | 10 | 4,60 | 19°,8 | 331‴,8 | „ |
| 201 | „ | 6h30′ | 82 | 10 | 4,30 | 19°,6 | 331‴,7 | „ |
| 202 | „ | 7h30′ | 80 | 10 | 4,57 | 19°,6 | 331‴,7 | heiter |
| 203 | „ | 9h30′ | 86 | 11 | 4,59 | 19°,8 | 331‴,8 | „ |
| 204 | 25 Juni | 11h30′ | 92 | 11 | 4,41 | 18°,8 | 331‴,0 | trüb |
| 205 | „ | 12h38′ | 93 | 11 | 4,22 | 19°,0 | 331‴,0 | „ |
| 206 | „ | 1h38′ | 89 | 10 | 4,40 | 19°,3 | 331‴,0 | unterbrochen heiter |
| 207 | „ | 2h30′ | 99 | 12 | 4,07 | 19°,1 | 331‴,0 | trüb |
| 208 | „ | 3h30′ | 96 | 11 | 4,05 | 19°,3 | 330‴,9 | „ |
| 209 | „ | 4h30′ | 104 | 12 | 4,10 | 19°,5 | 330‴,9 | unterbrochen heiter |
| 210 | „ | 5h35′ | 90 | 13 | 3,88 | 19°,2 | 331‴,9 | heiter |
| 211 | „ | 6h37′ | 99 | 14 | 3,64 | 19°,3 | 331‴,9 | „ |

## Bemerkungen.

Zu Nr. 195. 8h30′ Mahlzeit.

196. 11h ½ Pfund Kirschen gegessen. Seit 11h zu Hause. Den ganzen Tag über Schlingbeschwerden und Kopfwehe.

203. 8h45′ Essen. Sehr müde.

204. Seit 10h zu Hause. 10h ½ Pfund Kirschen gegessen. Heute ziemlich bedeutende Schlingbeschwerden, Kopfwehe, Frösteln, bei geringer Geschwulst im Hintermunde.

206. Ass nichts zu Mittag.

| Nr. | Tag | Stunde | Puls in 1 Minute | Ausathmungen in 1 Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft | Temperatur nach Cels. | Barometer (paris. ‴) | Witterung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1843 | | | | | | | |
| 212 | 26 Juni | $8^h34'$ | 78 | 12 | 4,40 | 18°,8 | 331‴,1 | trüb |
| 213 | „ | $9^h30'$ | 83 | 12 | 4,14 | 18°,9 | 331‴,1 | „ |
| 214 | „ | $10^h$ | | 12 | 3,83 | 18°,9 | 331‴,1 | „ |
| 215 | „ | $10^h40'$ | 77 | 12 | 3,83 | 19°,1 | 330‴,9 | „ |
| 216 | „ | $11^h30'$ | 76 | 12 | 4,03 | 19°,4 | 330‴,9 | „ |
| 217 | „ | $1^h34'$ | 93 | 12 | 4,03 | 19°,1 | 330‴,9 | trüb, Regen |
| 218 | „ | $2^h4'$ | | | 3,97 | 19°,1 | 331‴,1 | „ |
| 219 | „ | $2^h39'$ | 73 | 13 | 3,80 | 18°,8 | 331‴,1 | „ |
| 220 | „ | $3^h8'$ | | 11 | 4,25 | 18°,8 | 331‴,1 | „ |
| 221 | „ | $3^h36'$ | 83 | 11 | 4,06 | 18°,7 | 331‴,1 | „ |
| 222 | „ | $4^h9'$ | 79 | 12 | 3,82 | 18°,9 | 331‴,2 | „ |
| 223 | „ | $5^h$ | 74 | 12 | 3,86 | 18°,7 | 331‴,3 | „ |
| 224 | „ | $6^h$ | 83 | 11 | 4,07 | 18°,7 | 331‴,3 | „ |
| 225 | „ | $7^h10'$ | 87 | 12 | 4,13 | 18°,7 | 331‴,1 | „ |
| 226 | „ | $8^h5'$ | 77 | 10 | 3,77 | 18°,6 | 331‴,2 | „ |
| 227 | „ | $9^h46'$ | 77 | 11 | 4,20 | 18°,6 | 331‴,5 | „ |

## Bemerkungen.

Zu Nr. 212. Dieselben Symptome einer Angina leichteren Grades. Blieb den ganzen Tag hindurch zu Hause.

217. Kein Wein bei der Mahlzeit.

227. $8^h30'$ Mahlzeit.

| Nr. | Tag | Stunde | Puls in 1 Minute | Ausathmungen in 1 Minute | Volum einer Exspiration in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Ausgeathmete Luft in einer Minute in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Ausgeathmete Kohlensäure in einer Minute in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1843 | | | | | | | |
| 228 | 27 Juni | $5^h35'$ | 64 | 9 | 444 | 3996 | 179,82 | 4,50 |
| 229 | „ | $6^h20'$ | 61 | 11 | 407 | 4477 | 182,66 | 4,08 |
| 230 | „ | $7^h$ | 67 | 10 | 407 | 4070 | 174,60 | 4,29 |
| 231 | „ | $10^h11'$ | 75 | 11 | 444 | 4884 | 196,34 | 4,02<br>4,09<br>3,96 |
| 232 | „ | $12^h$ | 70 | 11 | 442 | 4862 | 185,24 | 3,81 |
| 233 | „ | $1^h34'$ | 77 | 12 | 487 | 5844 | 224,99 | 3,85 |
| 234 | „ | $2^h17'$ | 90 | 12 | 462 | 5544 | 209,01 | 3,77 |
| 235 | „ | $2^h51'$ | 87 | 12 | 462 | 5544 | 211,78 | 3,82 |
| 236 | „ | $3^h37'$ | 84 | 12 | 462 | 5544 | 211,78 | 3,82 |
| 237 | „ | $5^h41'$ | 76 | 12 | 423 | 5076 | 215,22 | 4,24 |
| | | Abend | | | | | | |
| 238 | 28 Juni | $9^h8'$ | 92 | 11 | 460 | 5060 | 208,47 | 4,12 |
| 239 | „ | $10^h10'$ | 84 | 11 | 440 | 4840 | 209,57 | 4,33 |
| 240 | „ | $11^h13'$ | 78 | 15 | 322 | 4830 | 196,09 | 4,06 |
| 241 | 29 Juni | $10^h3'$ | 70 | 13 | 373 | 4849 | 205,60 | 4,24<br>4,23 |
| 242 | „ | $11^h7'$ | 76 | 12 | 373 | 4476 | 181,28 | 4,05 |
| 243 | „ | $2^h12'$ | 85 | 13 | 403 | 5239 | 211,13 | 4,03 |
| 244 | „ | $3^h9'$ | 82 | 12 | 404 | 4848 | 200,71 | 4,14 |
| 245 | „ | $9^h44'$ | 72 | 12 | 376 | 4512 | 210,26 | 4,66 |
| 246 | „ | $11^h52'$ | 73 | 12 | 391 | 4692 | 182,99 | 3,90 |
| 247 | 30 Juni | $10^h$ | 69 | 11 | 468 | 5148 | 244,53 | 4,75 |
| 248 | „ | $12^h6'$ | 73 | 13 | 409 | 5317 | 217,46 | 3,91 |
| 249 | „ | $2^h18'$ | 82 | 13 | 428 | 5564 | 256,50 | 4,61 |

| Temperatur nach Cels. | Barometer (paris ‴) | Witterung | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|
| 18°,4 | 331‴,9 | heiter | ½ Stunde nach Erwachen. |
| 18°,4 | 331‴,9 | „ | |
| 18°,4 | 331‴,9 | unterbrochen heiter | 6ʰ45′ Frühstück. |
| 18°,3 | 331‴,9 | „ | 7ʰ45′ bis 9ʰ30′ mässige Bewegung. |
| 18°,6 | 332‴,0 | heiter | |
| 18°,8 | 331‴,5 | „ | |
| 18°,9 | 331‴,5 | trüb | |
| 18°,9 | 331‴,4 | „ | |
| 19°,0 | 331‴,1 | heiter | |
| 19°,0 | 330‴,9 | bewölkt | |
| 18°,4 | 329‴,3 | „ | Von 5ʰ—8ʰ 2 Flaschen Bier getrunken. Mässige Bewegung. |
| 18°,8 | 329‴,3 | Regen | |
| 18°,9 | 329‴,3 | „ | Von 10ʰ—10ʰ52′ machte ich absichtlich zwischen 4000—5000 Exspirationen, während ich ruhig sass. |
| 18°,1 | 329‴,8 | trüb Regen | Seit 9ʰ zu Hause. 9ʰ30′ ½ Pfund Kirschen gegessen. |
| 18°,3 | 329‴,9 | „ | |
| 18°,7 | 330‴,1 | „ | |
| 18°,8 | 330‴,3 | „ | |
| 17°,8 | 331‴,9 | „ | 6ʰ—8ʰ30′ im Theater. Dann Mahlzeit. |
| 18°,1 | 332‴,3 | „ | Sehr müde. |
| 17°,1 | 333‴,1 | „ | Seit 9ʰ zu Hause. |
| 17°,5 | 333‴,2 | „ | |
| 17°,2 | 333‴,2 | trüb | |

| Nr. | Tag | Stunde | Puls (in 1 Minute) | Ausathmungen (in 1 Minute) | Volum einer Exspiration (in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Ausgeathmete Luft in einer Minute (in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Ausgeathmete Kohlensäure in einer Minute (in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1843 | | | | | | | 4,48 |
| 250 | 30 Juni | $5^h$ | 63 | 13 | 468 | 6084 | 272,56 | 4,31<br>4,56 |
| | | | | | | | | 4,38 |
| 251 | „ | $6^h14'$ | 69 | 12 | 468 | 5616 | 245,98 | 4 37<br>4,39 |
| 252 | „ | $9^h30'$ | 72 | 11 | 493 | 5423 | 244,03 | 4,50 |
| 253 | „ | $11^h42'$ | 68 | 11 | 446 | 4906 | 228,62 | 4,66 |
| 254 | 1 Juli | $9^h53'$ | 62 | 12 | 430 | 5160 | 236,84 | 4,59 |
| 255 | „ | $12^h10'$ | 68 | 12 | 448 | 5376 | 261,27 | 4,86 |
| 256 | „ | $2^h32'$ | 74 | 13 | 394 | 5122 | 242,78 | 4,74 |
| 257 | „ | $4^h32'$ | 77 | 13 | 411 | 5343 | 226,01 | 4,23 |
| 258 | „ | $5^h8'$ | 75 | 13 | 430 | 5590 | 220,25 | 3,94 |
| 259 | „ | $10^h48'$ | 68 | 12 | 432 | 5184 | 230,69 | 4,45 |
| 260 | 2 Juli | $12^h$ | 72 | 12 | 394 | 4728 | 191,01 | 4,04 |
| 261 | „ | $1^h32'$ | 89 | 14 | 393 | 5502 | 211,28 | 3,84 |
| | | | | | | | | 3,95 |
| 262 | „ | $2^h31'$ | 98 | 14 | 411 | 5754 | 227,28 | 3,90<br>4,01 |
| 263 | „ | $4^h19'$ | 75 | 14 | 394 | 5516 | 246,01 | 4,46 |
| 264 | „ | $11^h8'$ | 64 | 11 | 469 | 5159 | 247,12 | 4,79 |
| 265 | 3 Juli | Morg. $9^h46'$ | 67 | 11 | 427 | 4697 | 204,79 | 4,36 |

| Temperatur nach Cels. | Barometer (paris. ‴) | Witterung | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|
| 17°,4 | 333‴,1 | trüb | |
| 17°,6 | 333‴,1 | „ | |
| 17°,3 | 333‴,6 | „ | 8h30′ Essen. |
| 17°,5 | 333‴,7 | „ | Sehr schläfrig. |
| 17°,2 | 334‴,1 | „ | Seit 9h zu Hause. |
| 17°,5 | 334‴,4 | „ | |
| 17°,4 | 334‴,4 | „ | |
| 17°,5 | 334‴,8 | „ | Von 3h10′ bis 4h15′ Spaziergang.— |
| 17°,6 | 335‴,2 | „ | 3h10′ Puls 86 Athemzüge 13 (unmittelbar vor dem Gehen)<br>3h27′ Puls 96 Athemzüge 18<br>3h54′ — 90 — 17<br>4h12′ — — — 18 |
| 17°,3 | 335‴,5 | „ | 6h—8h mässige Bewegung. 8h30′ Essen. |
| 18°,0 | 335‴,3 | „ | Seit 9h zu Hause. |
| 18°,1 | 335‴,1 | „ | |
| 18°,2 | 335‴,1 | „ | |
| 18°,2 | 335‴,1 | „ | |
| 18°,0 | 335‴,1 | „ | Abends Bewegung. Sodann von 6h —9h30′ im Theater. — Sehr schläfrig. |
| 18°,6 | 335‴,2 | „ | Seit ½ Stunde zu Hause. |

| Nr. | Tag | Stunde | Puls in 1 Minute | Ausathmungen in 1 Minute | Volum einer Exspiration in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Ausgeathmete Luft in einer Minute in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Ausgeathmete Kohlensäure in einer Minute in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1843 | | | | | | | |
| 266 | 3 Juli | 12h | 74 | 11 | 428 | 4708 | 215,63 | 4,58 |
| 267 | 4 Juli | 10 | 62 | 10 | 487 | 4870 | 206,49 | 4,24 |
| 268 | „ | 11h | 73 | 10 | 463 | 4630 | 187,51 | 4,05 |
| 269 | „ | 12h | 64 | 11 | 485 | 5335 | 197,39 | 3,70 |
| 270 | „ | 2h | 95 | 14 | 441 | 6174 | 233,37 | 3,78<br>3,79 |
| 271 | „ | 7h11′ | 87 | 12 | 459 | 5508 | 203,24 | 3,69 |
| 272 | „ | 9h57′ | 64 | 11 | 459 | 5049 | 211,55 | 4,19 |
| | | Morg. | | | | | | |
| 273 | 5 Juli | 4h25′ | 58 | 9 | 459 | 4131 | 209,29 | 5,06 |
| 274 | „ | 5h30′ | 64 | 9 | 484 | 4356 | 195,15 | 4,48 |
| 275 | „ | 6h30′ | 64 | 11 | 439 | 4829 | 200,40 | 4,15 |
| 276 | „ | 10h | 70 | 12 | 505 | 6060 | 227,25 | 3,75 |
| 277 | „ | 11h | 71 | 11 | 480 | 5280 | 194,83 | 3,69 |
| 278 | 6 Juli | 11h | 74 | 12 | 415 | 4980 | 196,71 | 3,95 |
| 279 | „ | 12h11′ | 70 | 12 | 477 | 5724 | 240,41 | 4,20 |
| 280 | „ | 1h15′ | 78 | 13 | 454 | 5902 | 213,65 | 3,62 |
| 281 | „ | 2h30′ | 84 | 13 | 453 | 5889 | 222,60 | 3,78 |
| 282 | 2 Aug. | 11h10′ | 70 | 10 | 465 | 4650 | 170,19 | 3,66 |
| 283 | „ | 12h | 65 | 11 | 462 | 5082 | 180,92 | 3,56 |
| 284 | „ | 1h17′ | 82 | 14 | 436 | 6104 | 216,08 | 3,54 |
| 285 | „ | 4h39′ | 72 | 11 | 477 | 5247 | 207,78 | 3,96 |
| 286 | „ | 5h37′ | 69 | 11 | 530 | 5830 | 201,72 | 3,46 |
| 287 | „ | 6h18′ | 69 | 11 | 501 | 5511 | 210,52 | 3,82 |
| 288 | „ | 7h23′ | 72 | 12 | 500 | 6000 | 224,40 | 3,74 |
| 289 | „ | 8h17′ | 64 | 11 | 432 | 4752 | 182,95 | 3,85 |
| 290 | „ | 9h35′ | 70 | 11 | 434 | 4774 | 206,24 | 4,32 |

| Temperatur nach Cels. | Barometer (paris. ‴) | Witterung | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|
| 18°,8 | 335‴,1 | trüb | 10ʰ30′ bis 11ʰ30′ ziemlich starke Bewegung. |
| 19°,9 | 334‴,1 | heiter | Seit ³/₄ Stunden zu Hause. |
| 20°,0 | 334‴,1 | „ | |
| 20°,3 | 334‴,0 | „ | |
| 21°,0 | 333‴,6 | „ | |
| 21°,7 | 333‴,0 | „ | |
| 21°,8 | 333‴,2 | „ | 7ʰ30′—8ʰ30′ mässige Bewegung. |
| 21°,2 | 333‴,1 | „ | 20 Minuten nach Erwachen. — Den ganzen Tag über starker Catarrh. |
| 21°,2 | 333‴,2 | „ | |
| 21°,4 | 333‴,3 | „ | |
| 23°,2 | 333‴,1 | „ | 7ʰ30′ bis 9ʰ30′ Bewegung. |
| 23°,3 | 333‴,1 | „ | |
| 24°,0 | 332‴,4 | „ | 7ʰ30′ bis 10ʰ Bewegung. — Starker Catarrh. |
| 24°,0 | 332‴,2 | „ | Kurz vorher etwas gegangen. |
| 24°,2 | 332‴,4 | „ | |
| 24°,3 | 332‴,1 | „ | |
| 18°,5 | 332‴,8 | „ | Seit 10ʰ zu Hause. |
| 19°,5 | 332‴,5 | „ | |
| 22°,3 | 332‴,3 | „ | |
| 23°,9 | 332‴,0 | „ | 3ʰ—4ʰ leichte Bewegung. |
| 24°,2 | 332‴,0 | „ | |
| 24°,5 | 332‴,1 | „ | |
| 24°,8 | 332‴,1 | „ | |
| 25°,1 | 332‴,2 | „ | |
| 24°,2 | 332‴,2 | „ | 8ʰ45′ Essen. |

| Nr. | Tag | Stunde | Puls in 1 Minute | Aushmungen in 1 Minute | Volum einer Exspiration in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Ausgeathmete Luft in einer Minute in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Ausgeathmete Kohlensäure in einer Minute in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1843 | | | | | | | |
| 291 | 2 Aug. | 10h25′ | 69 | 11 | 454 | 4994 | 216,74 | 4,34 |
| 292 | 3 Aug. | 538′ | 59 | 9 | 537 | 4833 | 251,80 | 5,21 |
| 293 | „ | 6h24′ | 59 | 10 | 508 | 5080 | 239,78 | 4,72 |
| 294 | „ | 7h23′ | 69 | 10 | 536 | 5360 | 253,43 | 4,73 |
| 295 | „ | 1h34′ | 84 | 12 | 535 | 6420 | 266,43 | 4,15 |
| 296 | „ | 4h36′ | 75 | 12 | 504 | 6048 | 267,32 | 4,42 |
| 297 | „ | 5h37′ | 74 | 12 | 504 | 6048 | 267,32 | 4,42<br>4,45<br>4,39 |
| 298 | „ | 6h40′ | 75 | 12 | 456 | 5472 | 246,24 | 4,50 |
| 299 | „ | 7h36′ | 61 | 11 | 534 | 5874 | 257,87 | 4,39 |
| 300 | 4 Aug. | 7h23′ | 70 | 11 | 487 | 5357 | 277,49 | 5,18 |
| 301 | „ | 11h29′ | 66 | 12 | 485 | 5820 | 270,63 | 4,65 |
| 302 | „ | 5h37′ | 75 | 11 | 538 | 5918 | 266,90 | 4,51 |
| 303 | „ | 7h26′ | 71 | 11 | 540 | 5940 | 270,27 | 4,55 |
| 304 | „ | 10h16′ | 68 | 11 | 462 | 5082 | 227,16 | 4,47 |
| 305 | 5 Aug. | 7h43′ | 66 | 12 | 543 | 6516 | 354,47 | 5,44 |
| 306 | „ | 10h11′ | 66 | 12 | 515 | 6180 | 286,13 | 4,63 |
| 307 | „ | 10h49′ | 75 | 12 | 516 | 6192 | 255,73 | 4,13 |
| 308 | „ | 11 29′ | 76 | 11 | 544 | 5984 | 247,14 | 4,13 |
| 309 | „ | 12h12′ | 81 | 10 | 544 | 5440 | 205,63 | 3,78<br>4,43 |
| 310 | „ | 7h6′ | 65 | 12 | 489 | 5868 | 259,95 | 4,56<br>4,30 |
| 311 | 6 Aug. | 12h15′ | 61 | 11 | 468 | 5148 | 222,39 | 4,32 |
| 312 | „ | 2h | 86 | 12 | 516 | 6192 | 263,78 | 4,26 |
| 313 | „ | 3h | 86 | 12 | 515 | 6180 | 265,12 | 4,29 |

| Temperatur nach Cels. | Barometer (paris. ″) | Witterung | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|
| 24°,3 | 332‴,2 | heiter | |
| 20°,4 | 332‴,1 | „ | ½ Stunde nach Erwachen. |
| 20°,6 | 332‴,1 | „ | |
| 20°,5 | 332‴,1 | „ | |
| 21°,7 | 331‴,8 | „ | |
| 22°,2 | 331‴,6 | abwechselnd heiter und bewölkt | 2h—3h leichte Bewegung. |
| 22°,2 | 331‴,6 | heiter | |
| 22°,1 | 331‴,6 | bewölkt | |
| 21°,9 | 331‴,6 | „ | |
| 18°,6 | 331‴,9 | heiter | ½ Stunde nach dem Frühstück. |
| 19°,1 | 331‴,7 | bewölkt | |
| 19°,7 | 331‴,5 | „ | |
| 18°,8 | 331‴,5 | „ | |
| 18°,8 | 331‴,5 | „ | 8h30′ Essen. — Ziemlich müde und schläfrig. |
| 16°,4 | 331‴,2 | Regen, trüb | 7h Frühstück. |
| 16°,5 | 332‴,1 | „ | 8h15′ bis 9h30′ Bewegung. |
| 16°,7 | 332‴,1 | „ | Von 10h15′ bis 10h35′ eine Flasche leichten weissen Wein getrunken. |
| 16°,9 | 332‴,2 | „ | |
| 17°,2 | 332‴,3 | trüb | |
| 17°,8 | 333‴,7 | „ | Den grössten Theil des Nachmittags ruhig zu Hause. |
| 17°,7 | 334‴,1 | „ | Seit 2 Stunden zu Hause. |
| 17°,9 | 334‴,1 | „ | |
| 18°,4 | 334‴,1 | Regen, trüb | |

| Nr. | Tag | Stunde | Puls (in 1 Minute) | Ausathmungen (in 1 Minute) | Volum einer Exspiration (in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Ausgeathmete Luft in einer Minute (in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Ausgeathmete Kohlensäure in einer Minute (in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1843 | | | | | | | |
| 314 | 6 Aug. | 4h10′ | 81 | 12 | 490 | 5880 | 255,78 | 4,35 |
| 315 | 7 Aug. | 9h36′ | 75 | 13 | 525 | 6825 | 297,57 | 4,36 |
| 316 | „ | 10h19′ | 68 | 11 | 554 | 6094 | 267,53 | 4,39 |
| 317 | „ | 10h52′ | 68 | 11 | 523 | 5753 | 260,03 | 4,52 |
| 318 | „ | 12h | 71 | 11 | 522 | 5742 | 256,09 | 4,46 |
| 319 | 8 Aug. | 10h32′ | 64 | 12 | 497 | 5964 | 266,59 | 4,47 |
| 320 | 9 Aug. | 10h | 70 | 12 | 446 | 5352 | 235,49 | 4,40 |
| 321 | „ | 11h15′ | 68 | 12 | 444 | 5328 | 200,86 | 3,77 |
| 322 | „ | 2h37′ | 85 | 14 | 441 | 6174 | 246,96 | 4,00 |
| 323 | „ | 5h | 72 | 12 | 460 | 5520 | 217,48 | 3,94<br>3,98<br>3,89 |
| 324 | „ | 6h15′ | 71 | 13 | 510 | 6630 | 243,32 | 3,67<br>3,59<br>3,76 |
| 325 | 10Aug. | 4h43′ | 57 | 11 | 448 | 4928 | 247,88 | 5,03<br>5,06<br>5,00 |
| 326 | „ | 5h46′ | 58 | 11 | 492 | 5412 | 248,95 | 4,60 |
| 327 | 11Aug. | 10h12′ | 78 | 12 | 509 | 6108 | 251,04 | 4,11 |
| 328 | „ | 12h | 81 | 13 | | | | 3,80 |
| 329 | „ | 4h55′ | 72 | 13 | 537 | 6981 | 291,80 | 4,18 |
| 330 | „ | 6h9′ | 72 | 12 | 483 | 5796 | 235,89 | 4,07 |
| 331 | 12Aug | 10h45′ | 65 | 12 | 544 | 6528 | 295,06 | 4,52 |
| 332 | 13Aug. | 10h16′ | 65 | 12 | 545 | 6540 | 289,72 | 4,43 |
| 333 | 14Aug. | 11h20′ | 65 | 11 | 511 | 5621 | 244,51 | 4,35 |
| 334 | 15Aug. | 10h28′ | 71 | 12 | 539 | 6468 | 282,65 | 4,37 |
| 335 | 17Aug. | 9h32′ | 66 | 12 | 507 | 6084 | 262,83 | 4,32 |

| Temperatur nach Cels. | Barometer (paris. ‴) | Witterung | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|
| 18°,5 | 334‴,1 | trüb | |
| 15°,8 | 336‴,5 | heiter | $7^h30'$—$9^h$ Bewegung. |
| 16° | 336‴,5 | unterbrochen heiter | $9^h45'$ bis $10^h$ eine Flasche Wein getrunken. |
| 16°,4 | 336‴,5 | trüb | |
| 17°,2 | 336‴,5 | heiter | |
| 17°,3 | 337‴,0 | „ | Seit 1 Stunde zu Hause. |
| 19°,3 | 335‴,5 | trüb | $8^h$—$9^h$ leichte Bewegung. |
| 19°,8 | 335‴,5 | heiter | |
| 21°,6 | 335‴,1 | „ | |
| 22°,3 | 334‴,9 | „ | $3^h$—$4^h$ Bewegung. |
| 21°,9 | 334‴,9 | „ | |
| 17°,3 | 334‴,0 | „ | Seit ½ Stunde wach. |
| 17°,5 | 334‴,0 | „ | |
| 21°,5 | 334‴,0 | trüb | $7^h30'$—$9^h30'$ Bewegung. |
| 22°,2 | 334‴,2 | „ | |
| 22°,2 | 334‴,4 | trüb, Regen | 1 Stunde vorher starke Ermüdung (durch Fechten). |
| 22°,3 | 334‴,4 | trüb | |
| 19°,2 | 335‴,1 | „ | $7^h30'$ bis $9^h45'$ Bewegung. |
| 18°,7 | 334‴,9 | „ | $8^h$—$9^h55'$ Bewegung. |
| 20°,3 | 333‴,6 | heiter | $7^h40'$ bis $10^h30'$ Bewegung. |
| 21°,1 | 333‴,9 | „ | $8^h$—$10^h$ Bewegung. |
| 23°,4 | 334‴,6 | „ | $7^h30'$ bis $8^h45'$ Bewegung. |

| Nr. | Tag | Stunde | Puls (in 1 Minute) | Ausathmungen (in 1 Minute) | Volum einer Exspiration (in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Ausgeathmete Luft in einer Minute (in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Ausgeathmete Kohlensäure in einer Minute (in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1843 | | | | | | | |
| 336 | 17Aug. | 11h | 62 | 12 | 537 | 6444 | 235,21 | 3,65 |
| | | Abend | | | | | | |
| 337 | 19Aug. | 6h24′ | 82 | 13 | 523 | 6799 | 254,96 | 3,75 |
| 338 | „ | 7h46′ | 66 | 12 | 590 | 7080 | 249,92 | 3,53 |
| 339 | 23Aug. | 4h41′ | 80 | 12 | 534 | 6408 | 271,06 | 4,23 |
| | | Abend | | | | | | |
| 340 | 31Aug. | 5h7′ | 79 | 14 | 531 | 7434 | 263,91 | 3,55 |
| 341 | „ | 6h3′ | 74 | 13 | 562 | 7306 | 290,78 | 3,98 |
| 342 | 1Sept. | 10h37′ | 69 | 12 | 569 | 6828 | 293,60 | 4,30 |
| 343 | „ | 11h37′ | 69 | 12 | 568 | 6816 | 269,91 | 3,96 |
| 344 | „ | 2h20′ | 86 | 14 | 603 | 8442 | 358,78 | 4,25<br>4,22<br>4,29 |
| 345 | 2Sept. | 10h20′ | 72 | 14 | 575 | 8050 | 358,22 | 4,45<br>4,28<br>4,62 |
| 346 | „ | 2h30′ | 84 | 15 | 568 | 8520 | 320,35 | 3,76<br>3,64<br>3,88 |
| 347 | „ | 4h12′ | 73 | 13 | 566 | 7358 | 308,30 | 4,19<br>4,16<br>4,22 |
| 348 | 3Sept. | 10h27′ | 69 | 13 | 576 | 7488 | 359,42 | 4,80<br>4,78<br>4,82 |

| Temperatur nach Cels. | Barometer (paris. ‴) | Witterung | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|
| 24°,3 | | heiter | Von 9ʰ35′ bis 10ʰ45′ machte ich bei vollkommener Ruhe des Körpers 3800 Athemzüge, Puls 10ʰ42′: 60—10ʰ52′: 62 in der Minute. |
| 27°,3 | 331‴,6 | „ | Den Nachmittag hindurch ruhig zu Hause. |
| 26°,4 | 331‴,5 | „ | 6ʰ35′ bis 7ʰ30′ ziemlich schnell gegangen. |
| 21°,6 | 331‴,5 | trüb, Regen | 3ʰ—4ʰ leichte Bewegung. |
| 26°,6 | 335‴,7 | heiter | |
| 26°,6 | 335‴,7 | „ | |
| 23°,1 | 336‴,8 | „ | 8ʰ—10ʰ Bewegung. Um 10ʰ etwas Obst gegessen. |
| 23°,6 | 336‴,8 | „ | |
| 24°,8 | 336‴,7 | „ | |
| 21°,3 | 337‴,1 | „ | 7ʰ20′—9ʰ50′ Bewegung. Vor dem Versuche etwas Obst gegessen. |
| 23°,9 | 337‴,1 | „ | |
| 25°,0 | | „ | |
| 21°,0 | 337‴,3 | „ | 7ʰ30′—9ʰ30′ Bewegung. |

| Nr. | Tag | Stunde | Puls (in 1 Minute) | Ausathmungen (in 1 Minute) | Volum einer Exspiration (in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Ausgeathmete Luft in einer Minute (in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Ausgeathmete Kohlensäure in einer Minute (in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1843 | | | | | | | |
| 349 | 3Sept. | $12^h16'$ | 62 | 13 | 542 | 7046 | 333,88 | 4,74 |
| | | | | | | | | 4,13 |
| 350 | „ | $2^h18'$ | 81 | 14 | 570 | 7980 | 329,57 | 4,18 / 4,07 |
| | | | | | | | | 4,20 |
| 351 | „ | $3^h$ | 76 | 13 | 568 | 7384 | 310,13 | 4,05 / 4,36 |
| | | | | | | | | 4,20 |
| 352 | „ | $4^h17'$ | 74 | 14 | 538 | 7532 | 316,34 | 4,00 / 4,40 |
| 353 | 4Sept. | $5_h$ | 59 | 11 | 611 | 6721 | 321,93 | 4,79 |
| 354 | „ | $11^h50'$ | 83 | 12 | 572 | 6864 | 287,60 | 4,19 |
| 355 | „ | $6^h3'$ | 70 | 12 | 537 | 6444 | 301,58 | 4,68 / 4,68 |
| | | | | | | | | 4,86 |
| 356 | 5Sept. | $9^h46'$ | 63 | 11 | 583 | 6413 | 311,67 | 4,89 / 4,83 |
| 357 | 10Spt. | $12^h$ | 60 | 11 | 513 | 5643 | 241,52 | 4,28 / 4,64 |
| 358 | 11Spt. | $10^h13'$ | 66 | 11 | 571 | 6281 | 291,44 | 4,69 / 4,58 |
| | | | | | | | | 4,31 |
| 359 | 12Spt. | $5^h34'$ | 84 | 12 | 568 | 6816 | 293,77 | 4,30 / 4,32 |
| 360 | „ | $6^h50'$ | 79 | 12 | 509 | 6108 | 252,87 | 4,14 / 4,80 |
| 361 | 17 Oct. | $2^h17'$ | 90 | 13 | 558 | 7254 | 348,19 | 4,86 / 4,74 |
| 362 | „ | $3^h18'$ | 84 | 13 | 527 | 6851 | 320,63 | 4,68 |
| 363 | „ | $4^h3'$ | 78 | 12 | 500 | 6000 | 280,80 | 4,68 |
| 364 | 21 Oct. | $11^h16'$ | 67 | 11 | 581 | 6391 | 340,00 | 5,32 |

| Temperatur nach Cels. | Barometer (paris. ‴) | Witterung | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|
| 21°,8 | 337‴,2 | bewölkt | |
| 23°,1 | 336‴,9 | heiter | |
| 23°,8 | 336‴,9 | „ | |
| 24°,0 | 336‴,8 | „ | |
| 20°,8 | 335‴,7 | trüb | ¾ Stunden nach Erwachen. |
| 21°,0 | 335‴,1 | „ | 6h bis 11h grosser Spaziergang. 9h ein Schoppen Wein getrunken. |
| 23°,2 | 335‴,1 | heiter | Den grössten Theil des Nachmittags hindurch zu Hause. |
| 17°,2 | 336‴,5 | trüb | 7h—9h15′ Bewegung. |
| 20°,2 | 335‴,1 | heiter | Seit 2 Stunden ruhig. |
| 21°,0 | 334‴,9 | „ | 7h30′—9h30′ Bewegung. |
| 22°,5 | 334‴,9 | „ | 2h—4h45′ leichte Bewegung. |
| 22°,3 | 335‴,0 | „ | |
| 8°,6 | 329‴,1 | „ | |
| 9°,2 | 329‴,1 | „ | |
| 9°,6 | 329‴,1 | „ | |
| 3°,9 | 335‴,8 | starker Nebel | 8h—9h Bewegung. |

| Nr. | Tag | Stunde | Puls in 1 Minute | Ausathmungen in 1 Minute | Volum einer Exspiration in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Ausgeathmete Luft in einer Minute in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Ausgeathmete Kohlensäure in einer Minute in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1843 | | | | | | | 4,58 |
| 365 | 22 Oct. | $11^h39'$ | 65 | 11 | 544 | 5984 | 274,07 | 4,66<br>4,48 |
| 366 | 23 Oct. | $2^h15'$ | 90 | 11 | 603 | 6633 | 299,81 | 4,52 |
| 367 | „ | $4^h15'$ | 83 | 11 | 568 | 6248 | 292,41 | 4,68 |
| 368 | „ | $5^h35'$ | 80 | 10 | 636 | 6360 | 259,49 | 4,08 |
| 369 | „ | $7^h55'$ | 67 | 10 | 635 | 6350 | 257,17 | 4,05 |
| 370 | 24 Oct. | $10^h21'$ | 56 | 10 | 633 | 6330 | 286,12 | 4,52 |
| 371 | „ | $11^h34'$ | 68 | 10 | 675 | 6750 | 267,30 | 3,96 |
| 372 | 25 Oct. | $4^h27'$ | 75 | 12 | 624 | 7488 | 327,98 | 4,38 |
| 373 | „ | $5^h27'$ | 72 | 11 | 620 | 6820 | 296,67 | 4,35 |
| 374 | 27 Oct. | $10^h20'$ | 69 | 11 | | | | 5,21 |
| 375 | 28 Oct. | $10_h$ | 75 | 11 | 727 | 7997 | 434,24 | 5,43 |
| 376 | „ | 11 | 65 | 10 | 727 | 7270 | 389,67 | 5,36 |
| 377 | „ | $12^h7'$ | 59 | 10 | 634 | 6340 | 330,31 | 5,21 |
| 378 | „ | $7^h15'$ | 64 | 11 | 561 | 6171 | 300,53 | 4,87 |
| 379 | 30 Oct. | $11^h30'$ | 67 | 12 | | | | 4,24 |
| 380 | „ | $2^h$ | 87 | 13 | 659 | 8567 | 329,83 | 3,63 |
| 381 | „ | $5^h17'$ | 77 | 12 | | | | 3,75 |
| 382 | 3 Nov. | $11^h8'$ | 67 | 12 | 670 | 8040 | 384,31 | 4,78<br>4,70<br>4,86 |
| 383 | „ | $4^h29'$ | 81 | 13 | 582 | 7566 | 334,42 | 4,42 |
| 384 | „ | $5^h19'$ | 72 | 12 | 618 | 7416 | 333,72 | 4,50 |
| 385 | „ | $6^h30'$ | 72 | 12 | 617 | 7404 | 308,01 | 4,16 |
| 386 | 4 Nov. | $10^h22'$ | 61 | 13 | 558 | 7254 | 372,13 | 5,13 |
| 387 | „ | $11^h18'$ | 59 | 12 | 589 | 7068 | 344,21 | 4,87 |
| 388 | 7 Nov. | $4^h10'$ | 82 | 13 | 529 | 6877 | 290,21 | 4,22 |

| Temperatur nach Cels. | Barometer (paris. ‴) | Witterung | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|
| 7°,4 | 337‴,0 | trüb | 7ʰ30′—11ʰ Bewegung. |
| 8°,5 | 335‴,7 | „ | 2ʰ45′—3ʰ50′ Spaziergang. |
| 9°,3 | 335‴,7 | „ | |
| 10°,3 | 336‴,0 | „ | |
| 10°,9 | 336‴,3 | „ | |
| 10°,5 | 334‴,5 | „ | 8ʰ—9ʰ30′ Bewegung. |
| 11°,0 | 334‴,6 | „ | 10ʰ40′ bis 11ʰ17′ im Zimmer auf- und abgegangen. |
| 11°,6 | 329‴,6 | „ | |
| 12°,2 | 329‴,4 | „ | |
| 8°,5 | 332‴,3 | „ | 7ʰ30′—9ʰ30′ Bewegung. |
| 6°,6 | 330‴,3 | „ | 8ʰ—9ʰ45′ leichte Bewegung. |
| 6°,9 | 330‴,6 | „ | |
| 7°,1 | 330‴,5 | trüb, Regen | |
| 8°,4 | 330‴,3 | „ | |
| 11°,9 | 332‴,0 | heiter | |
| 13°,5 | 330‴,0 | „ | 2ʰ15′—3ʰ15′ Spaziergang. |
| 14°,8 | 330‴,0 | „ | |
| 13°,5 | 335‴,8 | „ | 8ʰ—10ʰ Bewegung. |
| 14°,8 | 332‴,6 | „ | |
| 15°,2 | 332‴,6 | „ | |
| 15°,5 | 332‴,6 | „ | |
| 11°,7 | 332‴,9 | starker Nebel | 8ʰ30′—9ʰ45′ Bewegung. |
| 11°,8 | 331‴,7 | „ | |
| 11°,7 | 333‴,6 | „ | 3 —3ʰ30· Spaziergang. |

| Nr. | Tag | Stunde | Puls (in 1 Minute) | Ausathmungen (in 1 Minute) | Volum einer Exspiration (in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Ausgeathmete Luft in einer Minute (in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Ausgeathmete Kohlensäure in einer Minute (in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1843 | | | | | | |
| 389 | 8 Nov. | 10h | 65 | 11 | 622 | 6842 | 319,52 | 4,67 |
| 390 | „ | 11h19′ | 65 | 12 | 619 | 7428 | 378,83 | 5,10 |
| 391 | „ | 5h22′ | 89 | 14 | 515 | 7210 | 288,40 | 4,00 |
| 392 | „ | 7h40′ | 70 | 13 | 517 | 6721 | 262,79 | 3,91 |
| 393 | „ | 9h21′ | 79 | 14 | 517 | 7238 | 289,52 | 4,00 |
| 394 | 9 Nov. | 10h15′ | 65 | 13 | 560 | 7280 | 334,88 | 4,60<br>4,60 |
| 395 | „ | 11h16′ | 59 | 13 | 560 | 7280 | 323,96 | 4,45 |
| 396 | „ | 5h30′ | 85 | 13 | 562 | 7306 | 317,08 | 4,34 |
| 397 | 11Nov. | Abend 6h | 72 | 13 | 543 | 7059 | 316,95 | 4,49 |
| 398 | 15Nov. | Abend 5h9′ | 73 | 12 | 521 | 6252 | 290,09 | 4,64 |
| 399 | 16Nov. | Nacht 2h43′ | 89 | 14 | 473 | 6622 | 314,54 | 4,75 |
| 400 | 30Nov. | 11h45′ | 68 | 14 | 604 | 8456 | 427,87 | 5,06 |
| 401 | 1 Dec. | 3h55′ | 83 | 14 | 681 | 9534 | 507,21 | 5,32 |
| 402 | 2 Dec. | 10h15′ | 77 | 13 | | | | 4,79 |
| 403 | 3 Dec. | 12h14′ | 75 | 13 | 609 | 7917 | 428,31 | 5,41 |
| 404 | „ | 2h12′ | 83 | 14 | 689 | 9646 | 470,72 | 4,88 |
| 405 | „ | 3h12′ | 93 | 15 | 574 | 8610 | 392,62 | 4,56 |
| 406 | 10Dec. | 11h40′ | 58 | 12 | 610 | 7320 | 346,23 | 4,73<br>4,69<br>4,77 |
| 407 | „ | 2h15′ | 78 | 15 | 572 | 8580 | 348,46 | 4,08 |
| 408 | 11Dec. | 11h | 64 | 12 | 617 | 7404 | 353,91 | 4,78 |
| 409 | „ | 2h9′ | 81 | 15 | 653 | 9795 | 418,24 | 4,27 |
| 410 | 12Dec. | 3h10′ | 81 | 14 | 555 | 7770 | 363,64 | 4,68 |

| Temperatur nach Cels. | Barometer (paris. ‴) | Witterung | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|
| 12°,3 | 330‴,3 | starker Nebel | 8ʰ—9ʰ15′ Bewegung. |
| 12°,6 | 329‴,6 | „ | |
| 13°,0 | 327‴,1 | „ | Vorher ein wenig Bewegung. |
| 13°,2 | 328‴,3 | „ | |
| 13°,0 | 328‴,4 | „ | |
| 9°,2 | 331‴,3 | trüb | 8ʰ— 9ʰ30′ Bewegung. |
| 9°,2 | 331‴,3 | „ | |
| 8°,9 | 331‴,6 | „ | 3ʰ—3ʰ45′ Spaziergang. |
| 5°,4 | 333‴,4 | „ | |
| 3°,9 | 334‴,5 | „ | |
| 3°,8 | 334‴,0 | „ | Abends 7ʰ bis Nachts 2ʰ getanzt. Nicht müde. |
| 8°,2 | 335‴,6 | „ | |
| 6°,9 | 332‴,3 | „ | |
| 7°,5 | 335‴,2 | „ | |
| 7°,3 | 337‴,5 | „ | |
| 7°,7 | 337‴,4 | „ | |
| 8°,1 | | „ | |
| 7°,9 | | heiter | Seit 2 Stunden ruhig zu Hause. |
| 8°,8 | 337‴,4 | „ | |
| 4°,6 | 338‴,0 | „ | Seit 11ʰ45′ zu Hause. |
| 5°,2 | 337‴,9 | „ | |
| 3°,8 | 339‴,0 | „ | 2ʰ—2ʰ50′ Spaziergang. |

| Nr. | Tag | Stunde | Puls (in 1 Minute) | Ausathmungen (in 1 Minute) | Volum einer Exspiration (in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Ausgeathmete Luft (in einer Minute, in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Ausgeathmete Kohlensäure (in einer Minute, in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1843 | | | | | | | |
| 411 | 13Dec. | 11h22′ | 64 | 13 | 509 | 6617 | 303,72 | 4,59 |
| 412 | „ | 4h3′ | 77 | 14 | 580 | 8120 | 293,94 | 3,62 |
| 413 | „ | 5h15′ | 72 | 12 | 616 | 7392 | 288,29 | 3,90 |
| | | | | | | | | 3,78 |
| 414 | 14Dec. | 5h | 73 | 13 | 552 | 7176 | 271,25 | 3,80<br>3,76 |
| | | | | | | | | 4,08 |
| 415 | 17Dec. | 12h | 64 | 12 | | | | 4,08 |
| 416 | 18Dec. | 11h15′ | 68 | 13 | 547 | 7111 | 268,79 | 3,78 |
| 417 | „ | 12h | 68 | 13 | 547 | 7111 | 257,42 | 3,62 |
| | | | | | | | | 4,08 |
| 418 | „ | 2h | 83 | 14 | 648 | 9072 | 370,14 | 4,18<br>3,98 |
| 419 | „ | 3h | 72 | 13 | 574 | 7462 | 296,87 | 3,98 |
| 420 | „ | 4h | 73 | 13 | 544 | 7072 | 280,05 | 3,96 |
| 421 | 20Dec. | 10h50′ | 67 | 11 | 618 | 6798 | 290,95 | 4,28 |
| 422 | „ | 12h | 68 | 11 | | | | 4,34 |
| 423 | „ | 1h50′ | 78 | 14 | 551 | 7714 | 330,16 | 4,28 |
| 424 | „ | 2h48′ | 75 | 12 | | | | 4,76<br>4,76 |
| 425 | 21Dec. | 10h | 74 | 12 | 537 | 6444 | 205,56 | 3,19 |
| 426 | „ | 12h11′ | 66 | 11 | | | | 3,45 |
| 427 | „ | 1h39′ | 75 | 13 | 610 | 7930 | 315,61 | 3,98 |
| 428 | 22Dec. | 4 12′ | 66 | 12 | 603 | 7236 | 266,28 | 3,68 |
| 429 | „ | 5h | 77 | 11 | 606 | 6666 | 249,31 | 3,74 |
| 430 | „ | 6h15′ | | | | | | 3,81 |
| 431 | 23Dec. | 12h | 60 | 12 | 546 | 6552 | 240,45 | 3,67 |
| 432 | „ | 1h | 77 | 13 | 549 | 7137 | 286,19 | 4,01 |
| 433 | „ | 1h30′ | 76 | 13 | 582 | 7566 | 319,28 | 4,22 |
| 434 | „ | 2h30′ | 76 | 13 | 582 | 7566 | 317,77 | 4,20 |

| Temperatur nach Cels. | Barometer (paris. ‴) | Witterung | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|
| 1°,9 | 340‴,2 | trüb | |
| 7°,1 | 339‴,6 | „ | 2ʰ—3ʰ Bewegung. |
| 6°,2 | 339‴,5 | „ | |
| 6°,1 | 340‴,0 | „ | |
| 6°,5 | | „ | |
| 7°,6 | 339‴,2 | „ | 8ʰ—10ʰ Bewegung. |
| 7°,9 | 339‴,2 | „ | |
| 8°,2 | 338‴,8 | „ | |
| 8°,6 | 338‴,7 | „ | |
| 8°,8 | | „ | |
| 5°,7 | 339‴,7 | „ | Seit 1 Stunde zu Hause. |
| 6°,1 | 339‴,6 | „ | |
| 6°,0 | 339‴,4 | „ | |
| 6°,2 | 339‴,3 | „ | |
| 12°,3 | 339‴,1 | „ | Seit ¾ Stunden zu Hause. |
| 10°,0 | 339‴,3 | „ | |
| 8°,6 | 339‴,4 | „ | |
| 11°,4 | 339‴,9 | „ | |
| 10°,5 | 339‴,9 | „ | |
| 9°,1 | 339‴,9 | „ | |
| 8°,8 | 340‴,3 | „ | 8ʰ—9ʰ30′ Bewegung. |
| 7°,2 | 340‴,3 | „ | |
| 6°,8 | 340‴,2 | „ | |
| 6°,4 | 340‴,1 | „ | |

| Nr. | Tag | Stunde | Puls in 1 Minute | Ausathmungen in 1 Minute | Volum einer Exspiration in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Ausgeathmete Luft in einer Minute in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Ausgeathmete Kohlensäure in einer Minute in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1843 | | | | | | | |
| 435 | 23Dec. | 3 | 79 | 13 | 552 | 7176 | 310,72 | 4,33 |
| 436 | 25Dec. | 12h10′ | 68 | 13 | 511 | 6643 | 225,86 | 3,40 |
| 437 | „ | 1h30′ | 83 | 14 | 512 | 7168 | 283,85 | 3,96 |
| 438 | 27Dec. | 12h | 72 | 13 | 476 | 6188 | 272,89 | 4,41 |
| 439 | 28Dec. | 10h50′ | | 13 | 554 | 7202 | 326,25 | 4,53<br>4,55<br>4,51 |
| 440 | „ | 12h20′ | 66 | 12 | 554 | 6648 | 280,54 | 4,22 |
| 441 | „ | 2h | 84 | 14 | 554 | 7756 | 347,47 | 4,48 |
| 442 | „ | 3h37′ | 80 | 13 | 524 | 6812 | 318,12 | 4,67 |
| 443 | 29Dec. | 10h25′ | 78 | 12 | 504 | 6048 | 273,37 | 4,52 |
| 444 | „ | 11h4′ | 68 | 11 | | | | 4,36 |
| 445 | 30Dec. | 10h24′ | 71 | 13 | 512 | 6656 | 260,91 | 3,92 |
| 446 | 31Dec. | 11h | 67 | 12 | 509 | 6108 | 238,82 | 3,91 |
| 447 | „ | 11h50′ | 71 | 12 | 539 | 6468 | 253,54 | 3,92 |
| 448 | „ | 2h | 98 | 15 | 573 | 8595 | 343,80 | 4,00 |
| 449 | „ | 2h32′ | 92 | 15 | 573 | 8595 | 340,36 | 3,96 |
| 450 | „ | 5h34′ | 81 | 13 | 494 | 6422 | 281,28 | 4,38 |
| | 1844 | | | | | | | |
| 451 | 4 Jan. | 9h49′ | 72 | 14 | 474 | 6636 | 265,44 | 4,00 |
| 452 | „ | 10h52′ | 75 | 14 | | | | 3,80 |
| 453 | 11Jan. | 10h | 70 | 13 | 509 | 6617 | 242,84 | 3,67 |
| 454 | 12Jan. | 10h3′ | 69 | 13 | 446 | 5798 | 215,10 | 3,71 |
| 455 | „ | 3h56′ | 80 | 14 | 483 | 6762 | 226,53 | 3,35 |
| 456 | „ | 4h48′ | 76 | 14 | 490 | 6860 | 241,47 | 3,52 |

| Temperatur nach Cels | Barometer (paris. ‴) | Witterung | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|
| 6°,1 | 340‴,2 | trüb | |
| 12°,4 | 339‴,3 | „ | 8ʰ—10ʰ25′ Bewegung. |
| 11°,4 | | „ | |
| 6°,1 | 340‴,0 | „ | 8ʰ—10ʰ30′ zum Theil starke Bewegung. |
| 4°,4 | 339‴,9 | „ | 8ʰ—10ʰ Bewegung. |
| 4°,9 | 339‴,8 | „ | |
| 4°,8 | 339‴,8 | „ | |
| 5°,4 | 339‴,7 | „ | |
| 3°,8 | 339‴,7 | „ | 8ʰ—10ʰ Bewegung. |
| 4°,0 | 339‴,7 | „ | |
| 10°,4 | 337‴,8 | „ | 8ʰ—10ʰ Bewegung. |
| 10°,1 | 335‴,6 | unterbrochen heiter | |
| 8°,8 | 335‴,6 | „ | |
| 6°,9 | 335‴,1 | heiter | Nach der Mahlzeit zwischen 1ʰ15′ bis 1ʰ35′ eine halbe Flasche Champagner getrunken. |
| 6°,9 | 335‴,1 | „ | |
| 5°,5 | | „ | |
| 12°,1 | 330‴,8 | bewölkt | 8ʰ—9ʰ15′ etwas Bewegung. |
| 9°,5 | 330‴,8 | „ | |
| 12°,3 | 338‴,0 | heiter | 8ʰ—9ʰ30′ Bewegung. |
| 10°,0 | 337‴,8 | „ | 8ʰ—9ʰ30′ Bewegung. |
| 11°,7 | 336‴,5 | unterbrochen heiter | 3ʰ— 3ʰ45′ Spaziergang. |
| 8°,9 | | „ | |

| Nr. | Tag | Stunde | Puls (in 1 Minute) | Ausathmungen (in 1 Minute) | Volum einer Exspiration (in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Ausgeathmete Luft in einer Minute (in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Ausgeathmete Kohlensäure in einer Minute (in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1844 | | | | | | | |
| 457 | 14Jan. | 9h46′ | 70 | 13 | 490 | 6370 | 236,33 | 3,71 |
| 458 | 20Jan. | 2h15′ | 78 | 13 | 515 | 6695 | 328,05 | 4,90 |
| 459 | „ | 3h50′ | 68 | 13 | | | | 4,41 |
| 460 | 25Jan. | 2h56′ | 90 | 15 | 521 | 7815 | 324,32 | 4,15 |
| 461 | 26Jan. | 2h32′ | 80 | 14 | 475 | 6650 | 288,61 | 4,34 |
| 462 | 31Jan. | 10h14′ | 70 | 12 | 518 | 6216 | 317,02 | 5,10 |
| 463 | 5Febr. | 10h16′ | 63 | 13 | 478 | 6214 | 272,17 | 4,38 |
| 464 | „ | 1h25′ | 80 | 14 | 481 | 6734 | 223,56 | 3,32 |
| 465 | „ | 2h5′ | 81 | 14 | 494 | 6916 | 231,68 | 3,35 |
| 466 | „ | 3h37′ | 73 | 13 | 510 | 6630 | 258,57 | 3,90 |
| 467 | 9Febr. | 3h48′ | 74 | 12 | 481 | 5772 | 281,10 | 4,87 |
| 468 | 10 Fbr. | 12h5′ | 71 | 12 | 481 | 5772 | 352,09 | 6,10 |
| 469 | „ | 1h30′ | 72 | 13 | 504 | 6552 | 412,77 | 6,30 |
| 470 | 12 Fbr. | 10h21′ | 62 | 11 | 545 | 5995 | 365,69 | 6,10 |
| 471 | „ | 11h34′ | 62 | 10 | 545 | 5450 | 333,54 | 6,12 |
| 472 | „ | 2h | 79 | 12 | 491 | 5892 | 381,80 | 6,48 |
| 473 | 13 Fbr. | 10h | 68 | 10 | 498 | 4980 | 289,34 | 5,81 |
| 474 | „ | 10h40′ | | | 509 | | | 5,75 |
| 475 | 14 Mrz. | 2h25′ | 85 | 13 | 490 | 6370 | 312,13 | 4,90 |
| 476 | „ | 3h50′ | 72 | 13 | 512 | 6656 | 318,72 | 4,79 |
| 477 | 20 Mrz. | 2h42′ | 72 | 12 | 536 | 6432 | 346,68 | 5,39 |
| 478 | 23 Mrz. | 2h54′ | 75 | 13 | 507 | 6591 | 309,77 | 4,70 |
| | | | | | | | | 4,67 |
| 479 | „ | 3h51′ | 71 | 13 | 532 | 6916 | 322,97 | 4,64 / 4,70 |
| 480 | 25Mrz. | 12h8′ | 70 | 12 | 563 | 6756 | 315,50 | 4,67 |
| 481 | „ | 1h7′ | 83 | 12 | 632 | 7584 | 397,40 | 5,24 |
| 482 | „ | 2h10′ | 81 | 12 | 594 | 7128 | 376,35 | 5,28 |

| Temperatur nach Cels. | Barometer (paris. ‴) | Witterung | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|
| 7°,2 | 334‴,5 | bewölkt | 8ʰ—9ʰ15′ etwas Bewegung. |
| 4°,3 | 331‴,2 | „ | |
| 4°,6 | 331‴,2 | „ | |
| 5°,4 | 336‴,6 | „ | |
| 3°,2 | 335‴,6 | „ | |
| 5°,5 | 334‴,8 | „ | Seit 9ʰ zu Hause. |
| 1°,1 | 334‴,1 | „ | |
| 10°,6 | 333‴,3 | „ | |
| 9°,1 | 333‴,1 | „ | |
| 7°,6 | 330‴,0 | „ | |
| 17°,7 | 327‴,2 | „ | |
| 5°,8 | 327‴,0 | heiter | |
| 6°,2 | 327‴,0 | trüb | |
| 4°,2 | 332‴,5 | „ | 8ʰ—10ʰ Bewegung. |
| 4°,6 | 332‴,5 | „ | |
| 5°,2 | 332‴,6 | heiter | |
| 12°,6 | 331‴,8 | unterbrochen heiter | |
| | | „ | |
| 5°,2 | 331‴,5 | trüb | |
| 5°,7 | 331‴,5 | „ | |
| 4°,8 | 328‴,2 | trüb, Schnee | |
| 6°,8 | 329‴,5 | trüb | |
| 7°,5 | 329‴,5 | heiter | |
| 8°,4 | 331‴,5 | trüb | |
| 8°,6 | 331‴,5 | „ | |
| 9°,0 | 331‴,4 | „ | |

| Nr. | Tag | Stunde | Puls in 1 Minute | Ausathmungen in 1 Minute | Volum einer Exspiration in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Ausgeathmete Luft in einer Minute in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Ausgeathmete Kohlensäure in einer Minute in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1844 | | | | | | | |
| 483 | 25Mrz. | $3^h9'$ | 88 | 12 | 630 | 7560 | 382,53 | 5,06 |
| 484 | „ | $4^h32'$ | 69 | 12 | 591 | 7092 | 302,11 | 4,26 |
| 485 | „ | $5^h29'$ | 69 | 12 | 558 | 6696 | 273,19 | 4,08 |
| 486 | 26Mrz. | $9^h18'$ | 74 | 12 | 553 | 6636 | 293,31 | 4,42 |
| 487 | 27Mrz. | $3^h28'$ | 78 | 12 | 593 | 7116 | 332,31 | 4,67 |
| 488 | „ | $4^h48'$ | 70 | 12 | 559 | 6708 | 283,07 | 4,22 |
| 489 | „ | $6^h17'$ | 70 | 12 | 559 | 6708 | 272,34 | 4,06 |
| 490 | 28Mrz. | $3^h19'$ | 76 | 12 | 561 | 6732 | 296,88 | 4,41 |
| 491 | „ | $4^h3'$ | 75 | 12 | 594 | 7128 | 308,64 | 4,33 |
| 492 | „ | $5^h11'$ | 77 | 12 | 594 | 7128 | 290,82 | 4,08 |
| 493 | 1Aprl. | $10^h11'$ | 70 | 11 | 599 | 6589 | 272,78 | 4,14<br>4,17<br>4,11<br>4,00 |
| 494 | „ | $4^h18'$ | 75 | 12 | 558 | 6696 | 267,84 | 4,04<br>3,96 |
| 495 | „ | $5^h9'$ | 72 | 12 | 558 | 6696 | 282,57 | 4,22 |
| 496 | „ | $5^h55'$ | 65 | 10 | 626 | 6260 | 269,18 | 4,30 |
| 497 | 3Aprl. | $3^h19'$ | 72 | 13 | 522 | 6786 | 296,54 | 4,37 |
| 498 | „ | $4^h$ | 71 | 12 | 522 | 6264 | 264,96 | 4,23 |
| 499 | „ | $4^h45'$ | 71 | 11 | 551 | 6061 | 248,50 | 4,10 |
| 500 | 4Aprl. | $12^h$ | 69 | 11 | 584 | 6424 | 242,82 | 3,78 |
| 501 | „ | $1^h45'$ | 78 | 12 | 619 | 7428 | 335,74 | 4,52 |
| 502 | „ | $2^h15'$ | 80 | 12 | 582 | 6984 | 307,29 | 4,40 |
| 503 | „ | $2^h55'$ | 79 | 12 | 579 | 6948 | 295,98 | 4,26 |
| 504 | „ | $3^h45'$ | 78 | 11 | 577 | 6347 | 270,38 | 4,26 |
| 505 | 8Aprl. | $10^h$ | 71 | 11 | 602 | 6622 | 327,13 | 4,94 |

| Temperatur nach Cels. | Barometer (paris. ‴) | Witterung | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|
| 9°,4 | 331‴,2 | trüb | |
| 9°,9 | 331‴,0 | „ | |
| 10°,1 | | „ | |
| 10°,8 | 328‴,6 | heiter | |
| 11°,3 | 333‴,9 | unterbrochen heiter | |
| 11°,9 | 333‴,9 | „ | |
| 12°,3 | 334‴,0 | „ | |
| 12°,2 | 335‴,9 | trüb | |
| 12°,5 | | „ | |
| 12°,9 | 336‴,3 | „ | |
| 9°,8 | 335‴,2 | heiter | |
| 13°,5 | 335‴,6 | „ | 2ʰ30′—3ʰ15′ Spaziergang. |
| 13°,9 | | „ | |
| 14°,1 | | „ | |
| 14°,5 | 333‴,0 | „ | |
| 15°,1 | 332‴,8 | „ | |
| 15°,3 | 332‴,7 | „ | |
| 13°,1 | 331‴,5 | „ | Seit 2½ Stunden zu Hause. Den ganzen Tag hindurch leichte gastrische Symptome und Frösteln. |
| 14°,2 | 331‴,3 | „ | |
| 14°,8 | 331‴,1 | „ | |
| 15°,3 | 331‴,1 | „ | |
| 15°,9 | 331‴,0 | „ | |
| 10°,2 | 337‴,2 | „ | Seit 1 Stunde zu Hause. |

| Nr. | Tag | Stunde | Puls in 1 Minute | Ausathmungen in 1 Minute | Volum einer Exspiration in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Ausgeathmete Luft in einer Minute in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Ausgeathmete Kohlensäure in einer Minute in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1844 | | | | | | | |
| 506 | 8Aprl. | 11h55′ | 69 | 11 | 565 | 6215 | 290,24 | 4,67 |
| 507 | „ | 1h17′ | 83 | 12 | 632 | 7584 | 337,49 | 4,45 |
| 508 | „ | 2h25′ | 81 | 12 | 592 | 7104 | 305,47 | 4,30 |
| 509 | „ | 3h16′ | 78 | 12 | 558 | 6696 | 292,57 | 4,22 |
| | | Morg. | | | | | | 4,15 |
| 510 | 16Ap. | 9h30′ | 71 | 11 | 594 | 6534 | 271,16 | 4,15 |
| 511 | „ | 10h45′ | 71 | 11 | 592 | 6512 | 280,01 | 4,30 |
| | | Morg. | | | | | | |
| 512 | 20Ap. | 9h29′ | 70 | 12 | 557 | 6684 | 320,16 | 4,79 |
| 513 | 28Ap. | 9h36′ | 69 | 12 | 526 | 6312 | 287,82 | 4,56 |
| 514 | „ | 10h31′ | 70 | 12 | 526 | 6312 | 294,77 | 4,67 |
| 515 | „ | 11h42′ | 70 | 10 | 555 | 5550 | 259,18 | 4,67 |
| 516 | „ | 1h15′ | 84 | 12 | 555 | 6660 | 318,34 | 4,78 |
| 517 | „ | 2h | 80 | 12 | 553 | 6636 | 309,90 | 4,67 |
| 518 | „ | 3h25′ | 83 | 11 | 552 | 6072 | 281,74 | 4,64 |
| 519 | „ | 4h40′ | 83 | 11 | 552 | 6072 | 272,63 | 4,49 |
| 520 | 1 Mai | 3h | 73 | 12 | 525 | 6300 | 268,38 | 4,26 |
| 521 | „ | 4h5′ | 72 | 11 | 553 | 6083 | 243,32 | 4,00 |
| 522 | „ | 5h3′ | 65 | 10 | 622 | 6220 | 241,95 | 3,89 |
| 523 | „ | 6h15′ | 65 | 10 | 625 | 6250 | 240,62 | 3,85 |
| 524 | 7 Mai | 10h20′ | 62 | 11 | 546 | 6006 | 303,90 | 5,06 |
| 525 | „ | 10h50′ | 68 | 11 | 545 | 5995 | 266,77 | 4,45 |
| 526 | „ | 4h15′ | 78 | 12 | 569 | 6828 | 278,58 | 4,08 |
| 527 | „ | 5h12′ | 78 | 11 | 569 | 6259 | 255,36 | 4,08 |
| 528 | 10Mai | 12h4′ | 59 | 10 | 575 | 5750 | 251,85 | 4,38 |
| 529 | „ | 1h12′ | 74 | 11 | 542 | 5962 | 256,36 | 4,30 |
| 530 | „ | 2h2′ | 80 | 12 | 540 | 6480 | 268,92 | 4,15 |
| 531 | „ | 3h5′ | 80 | 12 | 568 | 6816 | 263,54 | 3,89 |

| Temperatur nach Cels. | Barometer (paris ‴) | Witterung | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|
| 11°,2 | 336‴,3 | heiter | |
| 12°,3 | 336‴,3 | „ | |
| 13°,6 | 336‴,3 | „ | |
| 14°,3 | 336‴,3 | „ | |
| 12°,8 | 336‴,1 | „ | |
| 13°,5 | 336‴,1 | „ | |
| 13°,9 | 335‴,8 | trüb | |
| 15°,2 | 336‴,3 | heiter | 7h30′ bis 9h mässige Bewegung. |
| 15°,3 | 336‴,4 | unterbrochen heiter | |
| 15°,5 | 336‴,4 | „ | |
| 15°,8 | 336‴,4 | heiter | |
| 16°,2 | 336‴,0 | „ | |
| 16°,9 | 336‴,2 | „ | |
| 17°,4 | 336‴,1 | „ | |
| 16°,3 | 336‴,9 | „ | |
| 16°,8 | 336‴,7 | „ | |
| 16°,9 | 336‴,7 | „ | |
| 17°,1 | 338‴,7 | „ | |
| 14°,8 | 330‴,2 | „ | 8h—9h30′ leichte Bewegung. Starker Catarrh. |
| 15°,1 | 330‴,2 | „ | |
| 18°,6 | 330‴,8 | trüb | |
| 18°,8 | 331‴,0 | „ | |
| 18°,0 | 332‴,7 | heiter | |
| 18°,9 | 332‴,7 | „ | |
| 19°,5 | 332‴,5 | „ | |
| 20°,4 | 332‴,4 | „ | |

| Nr. | Tag | Stunde | Puls in 1 Minute | Ausathmungen in 1 Minute | Volum einer Exspiration in einer Minute in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Ausgeathmete Luft in einer Minute in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Ausgeathmete Kohlensäure in einer Minute in Kubikcentimetern, reduc. auf + 37° Cels. und 336‴ Barom. | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1844 | Abend | | | | | | |
| 532 | 14Mai | $5^h5'$ | 71 | 11 | 542 | 5962 | 251,59 | 4,22 |
| 533 | 15Mai | $11^h52'$ | 62 | 10 | 582 | 5820 | 292,16 | 5,02 |
| 534 | „ | $2^h2'$ | 75 | 12 | 581 | 6970 | 349,99 | 5,02 |
| 535 | 16Mai | $12^h15'$ | 62 | 10 | 553 | 5530 | 260,46 | 4,71 |
| 536 | „ | $2^h46'$ | 71 | 11 | 582 | 6402 | 311,77 | 4,87 |
| 537 | 2 Juni | $11^h40'$ | 59 | 10 | 543 | 5430 | 253,58 | 4,67 |
| 538 | „ | $1_h30'$ | 70 | 10 | 649 | 6490 | 301,13 | 4,64 |
| 539 | „ | $2^h35'$ | 79 | 11 | 568 | 6248 | 271,16 | 4,34 |
| 540 | 3 Juni | $9^h46'$ | 73 | 11 | 610 | 6710 | 305,97 | 4,56 |
| 541 | „ | $10^h28'$ | 59 | 10 | 574 | 5740 | 269,78 | 4,70 |
| 542 | „ | $11^h16'$ | 66 | 10 | 541 | 5410 | 242,91 | 4,49 |
| 543 | „ | $2_h$ | 78 | 12 | 572 | 6864 | 295,15 | 4,30 |
| 544 | 5 Juni | $9^h15'$ | 66 | 11 | 586 | 6446 | 311,34 | 4,83 |
| 545 | „ | $10^h16'$ | 63 | 11 | 553 | 6083 | 293,81 | 4,83 |
| 546 | „ | $11^h$ | 56 | 10 | 550 | 5500 | 248,60 | 4,52 |
| 547 | „ | $12^h$ | 58 | 9 | 618 | 5562 | 247,51 | 4,45 |
| 548 | 10Jun. | $11^h54'$ | 64 | 10 | 507 | 5070 | 260,09 | 5,13 |
| 549 | „ | $12^h35'$ | 64 | 10 | 535 | 5350 | 248,24 | 4,64 |
| 550 | „ | $2_h3'$ | 81 | 12 | 563 | 6756 | 293,21 | 4,34 |
| 551 | „ | $3^h12'$ | 64 | 12 | 502 | 6024 | 266,86 | 4,43 |
| 552 | 16Jun. | $11^h20'$ | 68 | 10 | 576 | 5760 | 319,68 | 5,55 |
| 553 | „ | $12_h6'$ | 64 | 10 | 544 | 5440 | 280,32 | 5,06 |
| 554 | „ | $1^h40'$ | 79 | 12 | 542 | 6504 | 318,69 | 4,90 |
| 555 | „ | $2^h38'$ | 74 | 11 | 512 | 5632 | 280,47 | 4,98 |
| 556 | 25Jun. | $10^h$ | 65 | 10 | 523 | 5230 | 276,14 | 5,28 |
| 557 | „ | $11^h13'$ | 64 | 10 | 553 | 5530 | 258,25 | 4,67<br>4,64<br>4,71 |

| Temperatur nach Cels. | Barometer (paris. ‴) | Witterung | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|
| 20°,5 | 335‴,4 | heiter | |
| 16°,2 | 334‴,5 | trüb | 8h—10h Bewegung. |
| 16°,5 | 334‴,4 | „ | |
| 14°,5 | 333‴,4 | „ | Seit 2 Stunden zu Hause. |
| 15°,0 | 332‴,9 | „ | |
| 16°,9 | 330‴,6 | heiter | Seit 2½ Stunden zu Hause. |
| 18°,3 | 330‴,4 | „ | |
| 19°,3 | 330‴,1 | „ | |
| 17°,4 | 330‴,8 | „ | Vorher nur sehr wenig Bewegung. |
| 17°,8 | 330‴,9 | „ | |
| 18°,1 | 331‴,0 | „ | |
| 19°,4 | 331‴,3 | „ | |
| 15°,3 | 334‴,7 | „ | 7h30′—8h50′ Bewegung. |
| 16°,0 | 334‴,6 | „ | |
| 16°,5 | 334‴,4 | „ | |
| 17°,2 | 334‴,3 | „ | |
| 23°,7 | 334‴,7 | „ | 7h30′ bis 9h30′ Bewegung. |
| 24°,2 | 334‴,6 | „ | |
| 25°,2 | 334‴,4 | „ | |
| 26°,2 | 334‴,1 | „ | |
| 19°,2 | 334‴,9 | unterbrochen heiter | 8h—9h30′ Bewegung. |
| 19°,7 | 334‴,9 | trüb | |
| 20°,3 | 334‴,9 | „ | |
| 21°,0 | 334‴,8 | heiter | |
| 26°,0 | 329‴,7 | trüb | 7h30′ bis 9h15′ Bewegung. |
| 26°,2 | 329‴,7 | abwechselnd heiter | |

| Nr. | Tag | Stunde | Puls (in 1 Minute) | Ausathmungen (in 1 Minute) | Volum einer Exspiration (in Kubikcentimetern, reduc auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Ausgeathmete Luft (in einer Minute, in Kubikcentimetern, reduc auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Ausgeathmete Kohlensäure (in einer Minute, in Kubikcentimetern, reduc auf + 37° Cels. und 336‴ Barom.) | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1844 | | | | | | | |
| 558 | 25Jun. | $2^h2'$ | 78 | 11 | 587 | 6457 | 326,72 | 5,06 |
| 559 | 27Jun. | $3^h45'$ | 76 | 11 | 534 | 5874 | 294,87 | 5,02 |
| 560 | „ | $5^h7'$ | 65 | 10 | 564 | 5640 | 278,61 | 4,94 |
| | | Abend | | | | | | |
| 561 | 28Jun. | $5^h2'$ | 61 | 10 | 571 | 5710 | 273,51 | 4,79 |
| 562 | „ | $5^h52'$ | 59 | 10 | 606 | 6060 | 283,00 | 4,67 |
| 563 | 29Jun. | $3^h40'$ | 75 | 11 | 572 | 6292 | 282,51 | 4,49 |
| 564 | 1 Juli | $3^h25'$ | 63 | 11 | 565 | 6215 | 290,24 | 4,67 |
| 565 | „ | $4^h40'$ | | | | | | 4,71 |
| 566 | 6 Juli | $12_h$ | 64 | 10 | 574 | 6314 | 304,96 | 4,83 |
| 567 | „ | $1^h30'$ | 64 | 9 | 540 | 4860 | 253,20 | 5,21 |
| 568 | „ | $2^h32'$ | 61 | 10 | 608 | 6080 | 297,92 | 4,90 |
| 569 | „ | $8^h4'$ | 65 | 11 | 540 | 5940 | 272,05 | 4,58 |
| 570 | „ | $9^h41'$ | 66 | 11 | 540 | 5940 | 311,26 | 5,24 |
| | | Abend | | | | | | |
| 571 | 8 Juli | $7^h15'$ | 68 | 11 | 486 | 5346 | 241,64 | 4,52 |
| 572 | „ | $8^h30'$ | 64 | 11 | 512 | 5632 | 246,68 | 4,38 |
| 573 | „ | $9^h30'$ | 64 | 10 | 486 | 4860 | 234,74 | 4,83 |
| 574 | 10 Juli | $12^h$ | 62 | 10 | 516 | 5160 | 235,29 | 4,56 |
| 575 | „ | $1^h20'$ | 64 | 9 | 514 | 4626 | 230,37 | 4,98 |
| 576 | „ | $2^h38'$ | 64 | 9 | 542 | 4878 | 218,44 | 4,56 |
| 577 | „ | $7^h50'$ | 64 | 11 | 464 | 5104 | 236,82 | 4,64 |
| 578 | „ | $9^h50'$ | 66 | 10 | 487 | 4870 | 233,27 | 4,79 |

| Temperatur nach Cels. | Barometer (paris. ‴) | Witterung | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|
| 26°,3 | 329‴,5 | trüb | |
| 21°,7 | 331‴,3 | „ | |
| 22°,2 | 331‴,3 | heiter | |
| 20°,3 | 333‴,1 | unterbrochen heiter | Seit 4$^h$ zu Hause. |
| 20°,5 | 333‴,1 | „ | |
| 20°,5 | 333‴,8 | heiter | |
| 21°,8 | 331‴,5 | trüb, Regen | |
| | | „ | |
| 17°,6 | 330‴,9 | „ | Kurz vorher leichte Bewegung, ½ Stunde lang. |
| 18°,4 | 331‴,1 | „ | Ass nichts zu Mittag. |
| 18°,6 | 331‴,1 | „ | |
| 19°,1 | 331‴,7 | „ | Gegen 8$^h$ drückender Schmerz in der Magengegend. |
| 18°,9 | 331‴,7 | „ | 8$^h$30′ ungewöhnlich starke Abendmahlzeit. |
| 18°,9 | 331‴,8 | heiter | Seit 5$^h$30′ zu Hause. Leichter Catarrh. |
| 19°,0 | 331‴,8 | „ | |
| 19°,0 | 331‴,8 | „ | Vorher kein Abendessen. |
| 17°,7 | 332‴,6 | trüb | |
| 18°,6 | 332‴,7 | „ | Keine Mittagsmahlzeit. |
| 19°,0 | 332‴,7 | „ | |
| 19°,1 | 332‴,7 | „ | 5$^h$—6$^h$ leichte Bewegung. |
| 19°,1 | 332‴,7 | „ | 8$^h$30′ ungewöhnlich starkes Abendessen. |

# Dritter Abschnitt.

## *Beobachtungen und Experimente über die Wirkung einiger Einflüsse der Aussenwelt, sowie einiger Zustände und Verrichtungen des Körpers auf das Athmen.*

---

## Erstes Kapitel.

### *Ueber den Einfluss der Tageszeit.*

Die Ueberschrift dieses Kapitels könnte hie und da Missverständnisse erregen, denen ich gleich anfangs begegnen möchte. Ich nehme nicht etwa für die einzelnen Fraktionen der täglichen Zeit an sich einen Einfluss auf die respiratorischen Funktionen, wie überhaupt auf den Organismus, in Anspruch, indem sowohl Gründe a priori, als auch später zu besprechende Erfahrungen mir mehr als hinreichend beweisen, dass keine sicheren und unbestreitbar nachweisbaren Erfahrungen uns berechtigen, die den verschiedenen Eintheilungen der Zeit zu Grunde liegenden astronomischen Momente als auf den Körper influenzirend zu betrachten, eine Behauptung, welche ich vor allem auf die tägliche Zeit beziehen muss. Dabei kann mir natürlich nicht beifallen, die zur Bestätigung der Zeitwirkungen, namentlich in Betreff der Mondszeit, von verschiedenen Beobachtern beigebrachten Erfahrungen, falls dieselben aus nach wissenschaftlichen Principien angestellten Untersuchungsmethoden resultiren, in Abrede zu stellen. Diese Thatsachen bleiben an sich von Werth; sie bedürfen aber einer auf anderen Principien, als den eben angedeuteten, beruhenden Erklärung, indem es keinem Zweifel unterworfen ist, dass man zur Erkenntniss ihrer ursächlichen Momente nicht bis zu den Gestirnen zurückzugehen hat.

Die in diesem Kapitel uns beschäftigenden Thatsachen hinsichtlich der Energie der Athemfunktionen zu verschiedenen Tageszeiten sind meiner vollkommensten Ueberzeugung nach nichts anderes, als eben der Ausdruck der in den einzelnen Stunden des Tages auf den Organismus mit (aus leicht erklärlichen Gründen) verschiedener Intensität wirkenden Einflüsse der Aussenwelt; vorzüglich aber und in viel höherem Maasse müssen wir dieselben als die Folge der *individuellen Lebensweise*, namentlich der bei den verschiedenen Menschen und Nationen verschiedenen Vertheilung der täglichen Arbeit und Ruhe, der Essenszeit u. s. w. erkennen. Unser Organismus ist, obwohl er nicht wenig von der Aussenwelt abhängt, dennoch in vieler Hinsicht sehr selbstständig und wir geniessen in der That eine grosse, freilich nicht unbeschränkte, Freiheit in der Leitung und dem Gebrauche der verschiedenen Systeme und Funktionen unseres Körpers.

Die in Nachstehendem von mir mitgetheilte Gestaltung der Energie der respiratorischen Funktionen zu verschiedenen Tageszeiten hat nur auf meine persönlichen Verhältnisse und auf die von mir in den verschiedenen Tageszeiten befolgte Lebensweise Anwendung und kann sich unter anderen äusseren und individuellen Umständen total anders verhalten. Wir müssen aber den hier aufgefundenen Thatsachen schon desshalb grosse Aufmerksamkeit schenken, weil sie uns die Mittel verschaffen, bei Erforschung der Wirkungsweise der verschiedenen, zu allen möglichen Tageszeiten beobachteten, äusseren Einflüsse und eigenen Zustände unseres Körpers auf die Athemfunktionen die bedeutenden Störungen zu beseitigen, welche auftreten, wenn die in die einzelnen Rubriken fallenden Beobachtungen zu verschiedenen Tageszeiten gemacht worden sind.

*Prout* und *Coathupe* haben die in den verschiedenen Stunden des Tages gebildete relative Kohlensäuremenge untersucht und sind aus den angegebenen Gründen zu, sowohl unter sich als auch von den meinigen ganz verschiedenen Resultaten gekommen, ohne dass wir desshalb dieselben, da sie einander gar nicht widersprechen können, für falsch halten dürfen.

Da in meiner Versuchsreihe bloss in die Stunden von 9 Uhr Vormittags bis exklusive 8 Uhr Abends eine gehörige Anzahl von Be-

obachtungen fällt, so bin ich genöthigt, die den übrigen Abschnitten der täglichen Zeit angehörenden Beobachtungen in der nachfolgenden Zusammenstellung zu übergehen, wie ich zudem bemerken muss, dass die Stunden 6 und 7 Abends fast durchgehends während des Sommers gemachte Beobachtungen enthalten, sodass die hier erhaltenen Zahlen ein wenig zu nieder sind; auch ist die Stunde 9 Vormittags etwas schwach repräsentirt. Ferner ist noch anzuführen, dass die Angaben über die Pulsfrequenz die Mittelwerthe aus sämmtlichen Beobachtungen von 1 — 537 (falls sie in die bezeichneten Stunden fallen) darstellen, während die übrigen Daten sich nur auf die Beobachtungen von 228 bis 537 beziehen können. Manche Correkturen, z. B. diejenige der Wärme, müssen, da die in die einzelnen Rubriken fallenden Mittelwerthe des Thermometers nicht ganz gleich sind, noch mit dieser Tabelle vorgenommen werden, wenn sie vollständig genau sein soll.

Der etwaige Einwurf, dass die für die verschiedenen Stunden aufgefundenen Mittelwerthe der einzelnen Funktionen möglicherweise von der Wahrheit ziemlich abweichen können, weil nicht alle Tage vollkommen gleichmässig in den einzelnen Stunden repräsentirt sind, ist von keinem grossen Gewichte. Allerdings bieten die einzelnen Tage grosse Verschiedenheiten in dieser Beziehung dar, doch vertheilen sich die Beobachtungen in der Art, dass die entstehenden Differenzen so ziemlich ausgeglichen werden *).

---

*) Hätte ich immer nur auf einen und denselben Tag fallende Stunden mit einander verglichen, so wäre eine viel zu kleine Zahl von Beobachtungen zu Gebote gestanden. Die *Pulsfrequenz* habe ich jedoch in diesem Sinne untersucht Es wurden nämlich die Pulsfrequenzen in der Stunde 9 mit denjenigen sämmtlicher nachfolgenden Stunden *desselben Tages* verglichen, so auch die Stunde 10 mit allen darauf folgenden u. s. w. und dasselbe Geschäft mit allen Stunden bis Abends 5 Uhr fortgesetzt. Die auf diese Weise für jede einzelne Stunde erhaltene grosse Zahl von Mittelwerthen wurde sodann addirt. Die daraus gezogenen, in Nachstehendem mitgetheilten Mittelzahlen zeigen keine erheblichen Differenzen von den Mittelwerthen der Seite 70 enthaltenen Tabelle.

| | | *Pulse* in 1 Minute: |
|---|---|---|
| 9h | — | 71,76 |
| 10h | — | 70,10 |

Die Tabelle Seite 70 enthält die Zusammenstellung sämmtlicher Beobachtungen nach der Tageszeit. Eine viel bequemere und deutlichere Uebersicht gewähren hier jedoch graphische Darstellungen, welche auf der beigegebenen Tafel enthalten sind.

Vor allem muss beim Anblick dieser graphischen Darstellungen die grosse Aehnlichkeit der verschiedenen Curven auffallen; hinsichtlich der Pulsfrequenz und der Zahl der Athemzüge wird man eine merkwürdige Uebereinstimmung gewahr. Mit unbedeutenden Abweichungen schliessen sich diesen Curven die Beobachtungen über die in einer Minute überhaupt ausgeathmete Luftmenge und die in derselben Zeit ausgeschiedene Kohlensäurequantität an. Bloss die zuletzt mitgetheilte Curve über die Volumverhältnisse der Exspirationen differirt von den übrigen. Ich glaube jedoch nicht, dass dieselbe desshalb unzuverlässig ist, obschon ich die Schwierigkeiten, die sich hier einer genauen und gewissenhaften Forschung darbieten, recht wohl kenne. Uebrigens zeigen, wie ein Blick auf sämmtliche, im zweiten Abschnitte mitgetheilten Beobachtungen darthut, diese Volumverhältnisse einer Exspiration trotz der verschiedenen Tageszeiten an einem und demselben Tage eine ziemlich grosse Uebereinstimmung, und es ist streng genommen nur die Verdauungszeit, während welcher bedeutende Abweichungen dieser Curve von den übrigen bemerkbar sind. Ich vermuthe mit vieler Wahrscheinlichkeit, dass das Gesetz, das wir später aus sämmtlichen Beobachtungen über den, wenigstens im Allgemeinen stattfindenden, übereinstimmenden Gang der Respirationsfrequenz mit der Grösse der Athembewegungen abstrahiren werden, hier bloss wegen der nach der Mittagsmahlzeit stattfindenden Anfüllung des Magens eine Beschränkung erleidet, da dem während der Ver-

---

*Pulse* in 1 Minute:

| | | |
|---|---|---|
| 11h | — | 70,17 |
| 12h | — | 68,12 |
| 1h | — | 80,66 |
| 2h | — | 83,12 |
| 3h | — | 83,52 |
| 4h | — | 77,55 |
| 5h | — | 75,78 |
| 6h | — | 71,45 |

*Tabelle über die Energie der respiratorischen Funktionen in den verschiedenen Tageszeiten.*

| Stunde | Anzahl der Beobachtungen | Pulsschläge in 1 Minute | Differenz von dem 75 betragenden Mittelwerthe der Pulsfrequenz | Athemzüge in 1 Minute | Unterschied von der 11,9 betragenden mittleren Respirationsfrequenz in 1 Minute | Volum einer Exspiration | Differenz von dem Mittelwerthe 507 | Volum der in 1 Minute ausgeathmeten Luft | Differenz von dem Mittelwerthe: 6034 | Volum der in 1 Minute exspirirten Kohlensäure | Differenz von dem auf 261 sich belaufenden Mittelwerthe | Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | In Kub. Cent., reducirt auf + 37° C. u. 336 par. ‴ Barometerstand. | | | | | | |
| 9 | 13 | 73,8 | — 1,2 | 12,1 | + 0,2 | 503 | — 4 | 6090 | + 56 | 264 | + 3 | 4,32 |
| 10 | 41—44 | 70,6 | — 4,4 | 11,9 | 0 | 529 | + 22 | 6295 | + 261 | 282 | + 21 | 4,47 |
| 11 | 32—35 | 69,6 | — 5,4 | 11,4 | — 0,5 | 534 | + 26 | 6155 | + 121 | 278 | + 17 | 4,51 |
| 12 | 29—30 | 69,2 | — 5,8 | 11,5 | — 0,4 | 496 | — 11 | 5578 | — 456 | 243 | — 18 | 4,36 |
| 1 | 19—20 | 81,5 | + 6,5 | 12,4 | + 0,5 | 513 | + 6 | 6343 | + 309 | 276 | + 15 | 4,35 |
| 2 | 44—48 | 84,4 | + 9,4 | 13,0 | + 1,1 | 516 | + 9 | 6799 | + 765 | 291 | + 30 | 4,27 |
| 3 | 31 | 82,2 | + 7,2 | 12,3 | + 0,4 | 516 | + 9 | 6377 | + 343 | 279 | + 18 | 4,37 |
| 4 | 31—32 | 77,8 | + 2,8 | 12,2 | + 0,3 | 517 | + 10 | 6179 | + 145 | 265 | + 4 | 4,21 |
| 5 | 32 | 76,2 | + 1,2 | 11,7 | — 0,2 | 521 | + 14 | 6096 | + 62 | 252 | — 9 | 4,13 |
| 6 | 18—20 | 75,2 | + 0,2 | 11,6 | — 0,3 | 496 | — 11 | 5789 | — 245 | 238 | — 23 | 4,12 |
| 7 | 12 | 74,6 | — 0,4 | 11,1 | — 0,8 | 489 | — 18 | 5428 | — 606 | 229 | — 32 | 4,22 |

dauung bedeutend verstärkten Athembedürfnisse entsprechende, tiefe Inspirationen uns, wegen der dem Zwerchfelle sich darbietenden Hindernisse, alsdann zu beschwerlich fallen, so dass die stärkere Sauerstoffaufnahme des Blutes vorzüglich durch eine bedeutendere Athemfrequenz vermittelt wird.

Nebenstehende Tabelle setzt uns in Stand, aus den zu irgend einer Tageszeit gemachten Beobachtungen über die Respiration die Verhältnisse der letzteren zu einer anderen Stunde desselben Tages mit ziemlicher Sicherheit zu finden.

Die Schwankungen in den respiratorischen Funktionen sind während der von uns untersuchten Stunden sehr bedeutend; eine auch nur flüchtige Betrachtung der übrigen, nicht in unsere Tabelle aufgenommenen Stunden überzeugt uns, dass die uns gegenwärtig beschäftigenden Stunden noch nicht die Minimalwerthe der Funktionen darstellen. Es ist von Interesse, die Schwankungsgrenzen obiger Funktionen innerhalb der Stunden 9 Vormittags bis 6 Abends zu ermitteln.

Die Rubrik c der folgenden Tabelle enthält das Verhältniss der Schwankungsgrösse (d. h. der Differenz der Maximal- und Minimalwerthe) der Funktionen zu ihrem mittleren Werthe. Der bequemeren Vergleichung wegen sind die Mittelwerthe sämmtlicher Funktionen zu 100 angenommen.

| Funktion | a. Mittelwerth der Funktion | b. Differenz des Maximums u. Minimums der Funktion | c. Schwankungsgrösse der Funktion |
|---|---|---|---|
| 1) Volum einer Exspiration . . . . . | 507 K. C. | 45 | 8 % |
| 2) Athemzüge in 1 Minute | 11,9 | 1,9 | 14 % |
| 3) Pulsfrequenz „ „ | 75 | 15 | 20 % |
| 4) In 1 Minute gebildete Kohlensäure . . . | 261 K. C. | 62 | 23 % |
| 5) In 1 Minute exspirirte Luft . . . . . | 6034 K. C. | 1371 | 22 % |

Wir sehen hieraus, dass Nr. 3, 4 und 5 fast gleiche Schwankungsgrössen zeigen, wogegen diejenigen von Nr. 1 und 2 geringer sind. Die Schwankungsgrössen von 1, 2 und der drei übrigen Rubriken verhalten sich annähernd wie 1 : 2 : 3.

Als ein zweites bemerkenswerthes Resultat muss ich hervorheben, *dass sämmtliche Funktionen in der Stunde 9 Vormittags in ihrer mittleren Energie auftreten.* Eine Vergleichung der für diese Stunde erhaltenen Werthe mit den Mittelwerthen, die ich aus fast allen meinen Beobachtungen zusammengenommen gewonnen habe, zeigt, dass beide fast zusammenfallen und dass bloss die Respirationsfrequenz eine, zudem höchst unbedeutende, Ausnahme macht, indem dieselbe in der Stunde von 9 — 10 um $^1/_5$ Exspiration grösser ist, als es das Mittel verlangt, welchem letzteren die nachfolgende Stunde von 10 — 11 mit $11^9/_{10}$ Exspirationen in der Minute entspricht. Diese merkwürdige Uebereinstimmung des Verhaltens aller respiratorischen Funktionen wird man nicht wohl für einen Zufall halten dürfen. Wie auch bei verschiedenen Individualitäten, bei normaler Verrichtung der Funktionen, die einzelnen Curven sich gestalten werden, so ist es doch wahrscheinlich, dass die eben besprochene Thatsache überall wiederkehren wird.

Eine durchgreifende Erklärung der Gestaltung der verschiedenen Curven ist natürlich nicht möglich; das Maximum derselben ist aber ohne allen Zweifel eine Folge der Verdauung der Mittagsmahlzeit; diese Funktion ist nämlich, wie später gezeigt wird, von mächtigem Einfluss auf unseren Körper. Mit dem Ausfallen der durch dieselbe bewirkten Erhöhung wird ein grosser Theil der Ungleichheiten beseitigt, welche die Funktionen in den verschiedenen Tageszeiten zeigen; doch bleiben, was sich von selbst versteht, immer noch genug, wenn auch minder starke, Fluktuationen übrig, deren Ursache ich nicht erklären kann. Keineswegs aber kann ich einräumen, dass hier der Stand der Sonne, wie *Prout* vermuthet, vorzüglich maassgebend sei, obwohl es mir nicht beifallen kann, den Einfluss zu läugnen, welchen dieser Mittelpunkt unseres Systemes auf die Erde und namentlich auf die atmosphärischen Verhältnisse, folglich mittelbar auch auf unseren Or-

ganismus ausübt. Doch sind die, in die von mir untersuchten Tageszeiten fallenden, Schwankungen der Wärme, des Feuchtigkeitsgrades, der Dichtigkeit u. s. w. der Atmosphäre nicht so bedeutend, dass hierdurch sehr bemerkbare physiologische Effekte erfolgen müssten, und *wir haben die Gestaltung der oben betrachteten Curven der Hauptsache nach auf innere, von unserem Organismus datirende, Ursachen zurückzuführen.*

---

## Zweites Kapitel.

*Ueber den Einfluss der Temperatur der Luft auf die respiratorischen Funktionen.*

Arm an Thatsachen, aber reich an Hypothesen oder doch wenigstens an nur beschränkte Anwendung zulassenden Untersuchungen ist die Wissenschaft auch hinsichtlich dieses so äusserst wichtigen Gegenstandes.

*Spallanzani* *) fand, dass die Menge der ausgeschiedenen Kohlensäure der von ihm während des Winterschlafes untersuchten Thiere (Murmelthiere, Fledermäuse u. s. w.) mit Abnahme der Temperatur abnimmt, und ist sonach geneigt, fast als eine sehr allgemeine Regel festzusetzen, dass die Absorption des Sauerstoffes mit der Temperatur der umgebenden Luft, in der die Thiere sich aufhalten, in geradem Verhältnisse stehe. Auf die Winterschläfer hat diese Erfahrung ihre volle und unbeschränkte Anwendung, aber bei den Thieren, die nicht in diesen merkwürdigen Zustand verfallen, findet gerade das Gegentheil statt. Es ist in der That zu verwundern, dass der genannte ausgezeichnete Forscher aus einer ganz richtigen Beobachtung einen durchaus unrichtigen Schluss zieht. *Marchand* fand bei Fröschen zwischen einer Temperatur von 6° — 14° C. das Maximum der Ausscheidung der Kohlensäure; bei höheren und niedrigeren Wärmegraden, als den ange-

*) *Gehlen*, N. Journ. d. Chemie. 3. Bd. S. 359 u. s. w.

gebenen, bemerkte er eine Abnahme derselben. Diese Experimente sind zwar nach einer sehr genauen Methode angestellt, jedoch sicherlich nicht in der gehörigen Zahl, um für die erhaltenen Resultate allgemeine Gültigkeit ansprechen zu können. Nach *Treviranus* hauchen Bienen in warmer Luft viel mehr Kohlensäure aus, als in kalter.

Diess ist alles, was ich von Beobachtungen über den Einfluss der Wärme auf die Kohlensäureerzeugung auffinden konnte. Die uns doch zunächst am meisten interessirenden Verhältnisse des Menschen und der ihm am nächsten stehenden Thiere, von denen ein Schluss auf unseren Organismus zu machen erlaubt ist, sind noch niemals Gegenstand einer fortgesetzten Reihe von Beobachtungen gewesen. Bei den meisten niederen Thieren und bei der grossen Mehrzahl der Pflanzen sind bekanntlich alle Funktionen in der wärmsten Jahreszeit in grösster Thätigkeit; mit dem Studium der Ausscheidung der Kohlensäure bei Insekten, Fröschen und winterschlafenden Säugethieren ist aber diese Frage hinsichtlich des Menschen nicht erledigt.

Bei der genauen Kenntniss, die man über die Ausdehnung der atmosphärischen Luft durch die Wärme hat, ist es leicht gewesen, für die verschiedenen Wärmegrade die Gewichtsverhältnisse der inspirirten Luft in den genauesten Ausdrücken darzustellen, was zu dem Ergebnisse führen musste, dass dem Blute beim Athmen der warmen Luft weniger Sauerstoff dargeboten werde, als in der Kälte. Eine derartige Betrachtung ist nicht ohne Nutzen; sie hat aber, da man über das Verhältniss der Zahl und der Tiefe der Inspirationen, sowie der Schnelligkeit des Pulses (also der mit der inspirirten Luft in Contakt kommenden Blutmenge) und der chemischen Beschaffenheit des Blutes bei verschiedenen Temperaturen gar keine Kenntniss hatte, nur einen höchst beschränkten Werth. Was hilft uns auch die Erforschung der Wirkungsgrösse eines Momentes, wenn wir uns um zehn andere gleichzeitig auftretende, die ja möglicherweise alle in entgegengesetzter Richtung wirksam sein können, gar nicht bekümmern!

Ohne neue Experimente angestellt zu haben, hat *Liebig*, von zwei ganz richtigen Thatsachen ausgehend, auch in dieser Frage

der Physiologie wesentliche Dienste geleistet. Er wurde durch die unbezweifelbare Thatsache dass im Allgemeinen mit zunehmender Wärme der Luft das Nahrungsbedürfniss bei dem Menschen abnimmt, zu dem Schlusse geführt, dass auch, weil im normalen Zustande das Körpergewicht mit geringen Schwankungen sich gleich bleibt, also der Verbrauch der Aufnahme entspricht, die Ausscheidung der Kohlensäure in warmen Klimaten und in der warmen Jahreszeit in Abnahme begriffen sei. Ferner machte er auf die Ungleichheiten in der Abkühlung unseres Körpers bei verschiedenen Temperaturen der Luft aufmerksam, welche durch unsere Kleider nicht vollkommen ausgeglichen werden. Da nun die Wärme des Körpers, trotz der Verschiedenheiten in der Lufttemperatur, verhältnissmässig sehr geringe Schwankungen zeigt, so dass man dieselbe füglich bei vielen Untersuchungen als gleichbleibend betrachten kann, so muss dieselbe bei niederer Temperatur schneller ersetzt werden, als bei höherer, worin ein zweiter, schlagender Beweis a priori für die stärkere Kohlensäureabscheidung in der Kälte liegt, da es unzweifelhaft ist, dass die nächste, unmittelbare Quelle der Wärmebildung in den im Organismus beständig vor sich gehenden Umsetzungen der organischen Moleküle und der damit verbundenen chemischen Aktionen enthalten sei.

Ausser einigen Bemerkungen über den Einfluss der Temperatur auf die Respirationsfrequenz konnte ich nichts weiter, was sich auf unser Thema bezieht, in den Schriften der Physiologen auffinden. In seinem Werke: „De l'influence des agens physiques sur la vie" bespricht *Edwards* diesen Gegenstand, und ohne auch nur eine einzige, hier so leicht mögliche Beobachtung angestellt zu haben, sagt er: „On sait que l'élévation de la température accélère les mouvemens respiratoires" (Seite 296). Mit Worten lassen sich aber diese und ähnliche Fragen nicht abmachen; Thatsachen sind es, welche auch hier die strenge Wissenschaft verlangt.

Zu der folgenden Untersuchung über den Einfluss der Temperatur auf die respiratorischen Funktionen konnte ich nur denjenigen Theil meiner Versuchsreihe benützen, bei welchen auf die absoluten Kohlensäurequantitäten Rücksicht genommen ist. Durch die

Zusammenstellung aller Beobachtungen ohne Unterschied (von Nr. 228 bis zu Ende) je nach den dabei beobachteten Temperaturgraden erhält man annähernd die Wirkung der Lufttemperatur auf die Respiration. Eine derartige Zusammenstellung hat aber, obgleich die dadurch erhaltenen Resultate den Temperatureinfluss ziemlich deutlich darstellen, noch manche Fehler, die bei einer besseren Methode vermieden werden können.

Erstens bieten die einzelnen Temperatur-Rubriken hinsichtlich der Tageszeit, in welcher die Beobachtungen gemacht wurden, einige Differenzen; in die eine Rubrik fallen nämlich z. B. mehr Beobachtungen auf 3 Uhr, in die andere mehr auf 11 Uhr, wodurch nothwendig, wie wir gesehen haben, Differenzen entstehen müssen, welche mit unserer gegenwärtigen Untersuchung über den Temperatureinfluss in gar keinem Zusammenhange stehen.

Diese Störungen liessen sich nun mit Hülfe der im vorigen Kapitel mitgetheilten Tabelle über die Energie der respiratorischen Funktionen in den verschiedenen Tageszeiten beseitigen. Ich reducirte desshalb die bei jeder einzelnen Beobachtung aufgefundenen Werthe auf diejenigen, welche dieselbe um 9 Uhr desselben Tages gezeigt hätte, letzteres aus dem Grunde, weil um diese Zeit fast alle respiratorischen Funktionen in ihrer mittleren Energie auftreten.

Ein Beispiel wird mein Verfahren noch deutlicher machen und dessen Nothwendigkeit darthun. Bei Beobachtung 312, den 6. August, wurde Mittags 2 Uhr gefunden: Puls = 86. Exspirationen = 12. Volum einer Exspiration = 516 Kub. Cent. In einer Minute exspirirte Luft = 6192 K. C. In einer Minute ausgeathmete Kohlensäure = 263,78, rund 264 K. C. Aus der Tabelle des vorigen Kapitels geht hervor, dass die Werthe der einzelnen Funktionen um 2 Uhr um Folgendes die Werthe um 9 Uhr übertreffen: Puls um 9,6. Exspiration um 1,3. Volum einer Exspiration: 13. — In einer Minute ausgeathmete Luft: 709. — Kohlensäure: 27. — Desshalb sind die auf 9 Uhr reducirten Werthe von 2 Uhr folgende: Puls 76,4 — Exspirationen 10,7 — Volum einer Exspiration 503 — Exspirirte Luft in einer Minute 5483 — Exspirirte Kohlensäure 237.

Die wenigen, ausserhalb der Zeit zwischen 9 Uhr Morgens und

7 Uhr Abends liegenden Beobachtungen mussten übergangen werden, da ich das Verhältniss der einzelnen Funktionen in dieser Tageszeit, aus Mangel einer gehörigen Zahl von Beobachtungen, nicht genau kenne.

Ferner ist die Zahl der Beobachtungen an verschiedenen Tagen sehr verschieden; während nämlich manche Tage bloss eine einzige enthalten, sind, namentlich während des Sommers, selbst zehn Beobachtungen an einem und demselben Tage gemacht worden, was bei der Zusammenstellung nothwendig ein grosses Uebergewicht der letzteren gegen die mit wenigen Beobachtungen versehenen Tage zur Folge hat. Desshalb musste auch diese Ungleichheit beseitigt und aus sämmtlichen Beobachtungen eines Tages, falls sie in die nämliche Temperatur-Rubrik fallen, das Mittel gezogen werden, so dass alsdann jeder Tag nur mit *einer* Beobachtung auftritt.

Die Temperaturangaben beziehen sich auf die Zimmerwärme und sind desshalb zum Theil, namentlich im Winter, von der Temperatur der Luft bedeutend verschieden, obgleich ich sehr häufig, sowohl um diesen Uebelstand zu vermeiden, als auch um Beobachtungen bei niederen Temperaiurgraden zu erhalten, im kalten Zimmer experimentirte. Da aber *vor* den Beobachtungen längere oder kürzere Zeit hindurch nicht selten ganz andere Temperaturen auf mich wirkten, als *während* der Beobachtungen, so entstehen dadurch allerdings für unsere Tabelle Störungen, deren Grösse ich nicht einmal angeben kann. Es kann z. B. für die Ausscheidung der Kohlensäure während einer Beobachtung, bei welcher die Zimmerwärme etwa 14° betrug, nicht gleichgültig sein, ob ich vor derselben dem nämlichen Temperatureinflusse oder einem viel höheren oder niedrigeren ausgesetzt war. Die Nachwirkung der kalten Atmosphäre muss sich, wenn wir uns unmittelbar darauf in eine wärmere begeben, in welcher die respiratorischen Funktionen, wie wir sehen werden, minder energisch vor sich gehen, dennoch geltend machen.

Die einzelnen Temperaturgrade zeigen nun, auf die oben geschilderte Art zusammengestellt, folgenden Einfluss auf die Respiration:

*Tabelle über den Einfluss der Lufttemperatur auf die respiratorischen Funktionen.*

| Temperatur (in Graden von Celsius) | Genaues Temperatur-mittel | Pulsschläge in 1 Minute | Athemzüge in 1 Minute | Volum einer Exspiration in Kub. Cent., reducirt auf + 37° C. und 336 par. Linien Barometer | In 1 Minute ausgeathmete Luft in Kub. Cent., reducirt auf + 37° C. und 336 par. Linien Barometer | In 1 Minute ausgeathmete Kohlensäure in Kub. Cent., reducirt auf + 37° C. und 336 par. Linien Barometer | Kohlensäure in 100 Raum-theilen ausgeathmeter Luft | Barometer in pariser Linien (red. auf 0°) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3° | 3°,72 | 74,20 | 11,44 | 511,2 | 5848 | 295,80 | 5,07 | 336‴,92 |
| 4° | 4°,52 | 67,93 | 11,59 | 535,9 | 6211 | 319,95 | 5,15 | 333‴,33 |
| 5° | 5°,44 | 73,29 | 12,47 | 531,4 | 6626 | 322,23 | 4,71 | 334‴,80 |
| 6° | 6°,44 | 72,89 | 12,72 | 563,8 | 7171 | 336,00 | 4,68 | 335‴,35 |
| 7° | 7°,43 | 69,74 | 12,59 | 565,3 | 7117 | 311,27 | 4,37 | 335‴,99 |
| 8° | 8°,60 | 75,18 | 12,82 | 560,8 | 7189 | 308,83 | 4,29 | 335‴,73 |
| 9° | 9°,30 | 74,37 | 12,07 | 532,7 | 6429 | 297,17 | 4,63 | 332‴,03 |
| 10° | 10°,35 | 72,81 | 11,84 | 537,8 | 6367 | 253,30 | 3,93 | 335‴,17 |
| 11° | 11°,48 | 71,84 | 12,18 | 556,6 | 6779 | 278,55 | 4,11 | 334‴,00 |
| 12° | 12°,37 | 72,94 | 11,95 | 549,3 | 6564 | 270,64 | 4,12 | 333‴,79 |
| 13° | 13°,48 | 77,06 | 12,14 | 583,7 | 7087 | 298,87 | 4,22 | 333‴,52 |
| 14° | 14°,50 | 68,97 | 11,38 | 561,0 | 6384 | 288,71 | 4,52 | 333‴,19 |
| 15° | 15°,36 | 70,20 | 11,27 | 555,6 | 6261 | 269,07 | 4,29 | 333‴,64 |
| 16° | 16°,48 | 67,93 | 10,75 | 538,2 | 5786 | 258,00 | 4,46 | 334‴,82 |
| 17° | 17°,42 | 70,69 | 11,09 | 529,7 | 5874 | 243,94 | 4,15 | 333‴,91 |
| 18° | 18°,48 | 75,68 | 11,59 | 465,3 | 5392 | 224,65 | 4,16 | 332‴,84 |
| 19° | 19°,42 | 70,93 | 11,15 | 501,0 | 5586 | 243,70 | 4,36 | 332‴,86 |
| 20° | 20°,32 | 69,15 | 11,10 | 533,9 | 5926 | 256,55 | 4,33 | 334‴,13 |
| 21° | 21°,37 | 74,67 | 12,00 | 518,5 | 6222 | 266,75 | 4,29 | 333‴,90 |
| 22° | 22°,27 | 72,53 | 12,81 | 490,5 | 6283 | 257,88 | 4,10 | 333‴,24 |
| 23° | 23°,51 | 71,26 | 11,99 | 519,9 | 6233 | 259,50 | 4,16 | 335‴,04 |
| 24° | 24°,29 | 72,28 | 12,11 | 514,8 | 6234 | 267,20 | 4,29 | 334‴,48 |

Die hier zu Grunde liegende Gesetzmässigkeit tritt im Allgemeinen deutlich hervor, wenn man auch, da die Zahl der Rubriken im Verhältnisse zu der Zahl der einzelnen Beobachtungen immer noch sehr gross ist, natürlich nicht erwarten darf, dieselbe in jeder einzelnen Rubrik bestätigt zu finden.

Theilen wir sämmtliche Beobachtungen in nur zwei Theile, so erhalten wir folgendes Resultat:

| | Mittel der niederen Temperaturen: 8°,47 C. | Mittel der höheren Temperaturen: 19°,40 C. | Differenzen der Werthe der respiratorischen Funktionen |
|---|---|---|---|
| Pulsschläge in 1 Minute | 72,93 | 71,29 | 1,64 |
| Exspirationen in 1 Minute | 12,16 | 11,57 | 0,59 |
| Volum einer Exspiration | 548,0 | 520,8 | 27,2 |
| Exspirirte Luft in 1 Min. (in K. C. reduc. auf + 37° C. u. 336 par. Lin. Bar.) | 6672 | 6016 | 656 |
| Exspirirte Kohlensäure in 1 Min. (in K. C. reduc. auf + 37° C. u. 336 par. Lin. Bar.) | 299,33 | 257,81 | 41,52 |
| Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft . . . . | 4,48 | 4,28 | 0,20 |
| Barometerstand in par. Linien | 334‴,60 | 333‴,82 | |

*Mehrere hundert Beobachtungen beweisen demnach, dass mit zunehmender Wärme der Luft die Grösse und Zahl der Athembewegungen, sowie der Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft bedeutend abnehmen, wogegen die Pulsfrequenz sich fast gleich bleibt.* Die kleine Differenz zwischen der den niederen Temperaturgraden entsprechenden Pulsfrequenz von derjenigen, welche bei den höheren Wärmegraden gefunden wurde, lässt die Frage vielleicht unentschieden, wohin die etwaige Vermehrung der Pulsschläge fällt. Jedenfalls ist aber der Unterschied nur höchst unbedeutend.

Eine bessere Einsicht in die Bedeutung der in voranstehender Tabelle aufgeführten Differenzen gibt die Aufstellung des Verhältnisses, welches diese Differenzen, oder mit anderen Worten, diese

Temperaturwirkungen zu den Werthen der respektiven Funktionen zeigen. Wir wollen aber als Mittelwerthe nicht die früher aufgestellten annehmen, sondern diejenigen, welche sich als Mittel aus beiden Rubriken der so eben mitgetheilten Tabelle ergeben, so dass die Pulsfrequenz = 72,11 wird,

die Exspirationsfrequenz = 11,86
das Volum einer Fxspiration = 534,4 Kub. Cent.
die in 1 Minute ausgeathmete Luft = 6344 „
„ „ „ „ Kohlensäure = 278,57 „
die relative Kohlensäure = 4,38 %

Setzen wir sämmtliche Mittelwerthe = 100, so erhalten wir für eine Temperaturveränderung von 10°,93 C., welche den Temperaturdifferenzen der beiden Rubriken in voranstehender Tabelle entsprechen, folgende Veränderungen in den Werthen der einzelnen Funktionen:

| | |
|---|---|
| Pulsfrequenz | $1^{1}/_{10}$ % |
| Exspirationsfrequenz | $4^{9}/_{10}$ % |
| Volum einer Exspiration | $5^{2}/_{10}$ % |
| Ausgeathmete Luft in 1 Minute | $10^{9}/_{10}$ % |
| „ Kohlensäure „ „ | $14^{9}/_{10}$ % |
| Relative Kohlensäure | $4^{6}/_{10}$ % |

Eine Erhöhung der Temperatur um 1° Cels. würde demnach die Energie der respiratorischen Funktionen in folgender Weise vermindern:

| | | |
|---|---|---|
| Pulsfrequenz | in 1 Minute | um 0,150 Schläge. |
| Exspirationsfrequenz | | „ 0,054 Exspirat. |
| Volum einer Exspiration | | „ 2,495 Kub. Cent. |
| In 1 Minute ausgeathmete Luft | | „ 60,18 „ |
| „ „ „ Kohlensäure | | „ 3,809 „ |
| Relative Kohlensäure | | „ 0,0183 % |

Diese Zahlen stellen über den Einfluss der Lufttemperatur auf das Athmen freilich nur Mittelwerthe dar, welche für jeden Temperaturgrad annähernd wahr sind. Es ist aber nicht unwahrscheinlich, ja aus der Betrachtung der einzelnen Kohlensäurewerthe in der oben gegebenen Zusammenstellung scheint selbst

hervorzugehen, dass bei niederen Wärmegraden ein Sinken der Lufttemperatur eine bedeutendere Zunahme der Energie der respiratorischen Funktionen bewirkt, als dieses bei höheren Temperaturen der Fall ist.

Verschiedene Ursachen mögen dazu beitragen, dass manche Rubriken der ersten Tabelle dieses Kapitels von dem allgemeinen Gesetze des Temperatureinflusses eine Ausnahme machen. Die kleine Erhöhung, welche in genannter Tabelle die respiratorischen Funktionen von 21° an zeigen, mag zum Theil daher rühren, dass die bei diesen Temperaturgraden gemachten Beobachtungen meistens in die Herbstzeit fielen, während die Sommerbeobachtungen grösstentheils bei niedrigeren Temperaturen gemacht wurden (der Sommer 1843 war nicht besonders warm). Dass zur Herbstzeit Einflüsse auf den Körper wirken müssen, die eine grössere Energie der Funktionen bedingen, hat schon *Sanctorius* mittelst seiner statischen Versuche gezeigt.

Vielleicht könnte durch eine passende Zusammenstellung und Verwendung meiner Beobachtungen, wozu mir der Schlüssel jetzt freilich noch fehlt, der Temperatureinfluss auf die Respiration noch deutlicher herausgestellt werden.

Ich machte den Versuch, den Einfluss der Lufttemperatur auf die Ausscheidung der Kohlensäure mit Hülfe der Methode der kleinsten Quadratsummen zu berechnen. Es wurden aus der ersten Tabelle je zwei auf einander folgende Temperaturgrade zusammengenommen und aus den Summen sämmtlicher Beobachtungen, die in eine Rubrik fielen (also nicht aus den in jener Tabelle aufgestellten Mittelwerthen) das Mittel gezogen. Es ergaben sich für:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 4°,2 | — | 309 | Kub. Cent. Kohlensäure. |
| 6°,0 | — | 329 | |
| 8°,0 | — | 310 | |
| 10°,1 | — | 263 | |
| 12°,0 | — | 274 | |
| 13°,9 | — | 295 | |
| 15°,8 | — | 264 | |
| 17°,8 | — | 237 | |

19°,8 — 249 Kub. Cent. Kohlensäure.
21°,7 — 264
23°,0 — 262

Diese Zahlen sind nicht von der Art, dass hier von der erwähnten Berechnung mit Sicherheit kein Resultat zu erwarten wäre. Die Rechnung führte jedoch zu keinem brauchbaren Resultate, wesshalb entweder meine Beobachtungen immer noch in zu geringer Zahl angestellt sind, oder der zur exakten Lösung unserer Frage erforderlichen Genauigkeit ermangeln.

Ist es vielleicht rathsamer, den Einfluss der Temperatur auf die einzelnen Faktoren der Kohlensäureausscheidung, namentlich auf den Gasgehalt und die chemische Beschaffenheit des Blutes mittelst der Beobachtung zu eruiren, als bei dem Studium der Temperaturwirkungen sogleich das, aus Combinationen gar verschiedener Elemente sich ergebende Endresultat: die ausgeschiedene Kohlensäure, im Auge zu haben? Mit zunehmendem Sinne für exakte Forschung wird ganz sicher auch diesem, für die Kenntniss der Respiration, der thierischen Wärme und des gesammten Stoffwechsels so unendlich wichtigen Gegenstande, sowohl im Ganzen als auch in seinen Einzelheiten, mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden, als dieses bisher der Fall war.

---

## Drittes Kapitel.

*Beobachtungen über den Einfluss des Luftdruckes auf die Respiration.*

Der Einfluss des Luftdruckes auf die Ausathmung der Kohlensäure hat die Physiologie noch weniger beschäftigt, als die Wirkungen, welche die Temperatur auf diese Exkretion ausübt. *Prout* erwähnt, es habe aus seinen Beobachtungen den Anschein, dass die (relative) Kohlensäurequantität grösser sei bei niederem Barometerstande. Diese Angabe halten Manche um so wahrscheinlicher, als das in dem Blute befindliche kohlensaure Gas, wenn die inspirirte Luft eine geringere Dichtigkeit habe, ein grösseres

Bestreben zeigen müsse, in die Lungenzellen zu entweichen. Ausserdem hat man Berechnungen angestellt über die Gewichtsdifferenzen der inspirirten Luft von verschiedener Pression und daraus auf das Verhalten der Sauerstoffabsorption bei verschiedenem Luftdrucke Schlüsse gezogen, was gerechtfertigt ist, sobald man den Werth der erhaltenen Resultate richtig zu würdigen versteht und nicht vergisst, dass dadurch nur *eines* der hier in Frage kommenden Momente untersucht ist und dass eine derartige Betrachtungsweise noch nicht zur vollständigen Kenntniss der Wirkungen des Luftdruckes auf die Respiration führen kann. *Pravaz* *) theilt endlich Beobachtungen über die Frequenz des Pulses, der Athemzüge u. s. w. mit, welche er an verschiedenen Kranken angestellt hat, bei denen er künstlich komprimirte oder verdünnte Luft in therapeutischer Absicht anwendete.

Es handelt sich hier bei unserem Mangel an bewahrheiteten Thatsachen um neue, in grosser Zahl angestellte Beobachtungen. Die folgende Zusammenstellung ist nach denselben Grundsätzen ausgeführt und enthält die nämliche Anzahl von Beobachtungen, wie die Tabelle des vorigen Kapitels. Die Barometerdifferenzen sind aber, im Vergleiche zu den Temperaturschwankungen, ausserordentlich gering, so dass sich schon daraus für die Untersuchung grosse Schwierigkeiten ergeben, so wie auch viel geringere Unterschiede in der Energie der einzelnen respiratorischen Funktionen auftreten müssen, als dieses bei den Temperaturwirkungen der Fall ist; desshalb sind die von mir aufgefundenen Thatsachen auch nur geeignet, eine allgemeine Einsicht in die Wirkungen des Luftdruckes auf das Athmen zu geben.

Es sind hier vorzüglich zwei Fragen zu lösen; die erste betrifft den Einfluss, welchen die verschiedenen Pressionen der atmosphärischen Luft auf die Respiration ausüben, wenn man *längere* Zeit hindurch dem gleichen Luftdrucke ausgesetzt ist; während die zweite die Veränderungen zu untersuchen hat, welche das Athmen in Folge *plötzlich* eintretender, bedeutender Schwankungen des Luftdruckes erleidet.

---

*) Archives générales de médecine. 1843

Ueber die letztere Frage habe ich keine Experimente angestellt; sie ist sehr wichtig für die Theorie der Respiration, deren Grundgesetz hinsichtlich des dabei stattfindenden Gaswechsels durch einige wenige, an Thieren gemachte, Experimente auf diesem Wege neue Bestätigung erhalten muss.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate meiner Beobachtungen über die erstgenannte Frage.

*Tabelle über den Einfluss des Luftdruckes auf die respiratorischen Funktionen.*

| Barometerstand | Genaues Mittel der Barometerstände | Pulsfrequenz | Zahl der Athemzüge | Volum einer Exspiration | Ausgeathmete Luft | Ausgeathmete Kohlensäure | Kohlensäure auf 100 Raumtheile ausgeathmeter Luft | Temperatur (Celsius) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| in pariser Linien | | in 1 Minute | | in Kub. Cent., reduc. auf + 37° C. und 336 par. Lin. Barom. | | in 1 Minute | | |
| 1) 330‴ *) | 330‴,16 | 71,3 | 11,47 | 544,0 | 6239 | 280,97 | 4,503 | 14°,7 |
| 2) 332‴ | 331‴,87 | 70,9 | 11,54 | 526,7 | 6078 | 276,69 | 4,552 | 16°,0 |
| 3) 334‴ | 334‴,08 | 70,7 | 11,79 | 517,8 | 6105 | 262,13 | 4,310 | 16°,5 |
| 4) 336‴ | 335‴,82 | 73,3 | 12,16 | 529,4 | 6437 | 274,28 | 4,261 | 15°,3 |
| 5) 338‴ | 337‴,65 | 71,8 | 12,76 | 550,1 | 7019 | 301,77 | 4,299 | 12°,3 |
| 6) 340‴ | 339‴,66 | 73,4 | 12,77 | 541,5 | 6914 | 287,46 | 4,157 | 7°,0 |

Während der Puls seine schon bei der Untersuchung der Temperaturwirkungen gefundene Unabhängigkeit gegen äussere Einflüsse behauptet, nimmt die Zahl der Athemzüge mit zunehmendem

*) Es enthält Rubrik 1) die auf 329‴ u. 330‴ fallenden Beobachtungen.
2) „ „ 331‴ u. 332‴ „ „
3) „ „ 333‴ u. 334‴ „ „
u. s. w.

Luftdrucke in jeder einzelnen Rubrik der Tabelle constant zu; hinsichtlich der Volumverhältnisse einer Exspiration bemerken wir zwar nicht unbeträchtliche Schwankungen, doch ist das Mehr ebenfalls auf der Seite der bei verstärkter Pression der Luft gemachten Beobachtungen; dieselben Schwankungen zeigt das in einer Minute exhalirte Luftvolum und die in derselben Zeit ausgeathmete Kohlensäurequantität, doch ist auch hier die Zunahme bei höherem Luftdrucke ganz unverkennbar; endlich wird *Prout's* Behauptung, dass bei zunehmendem Luftdrucke die in 100 Raumtheilen exspirirter Luft enthaltene Kohlensäure abnehme, durchaus bestätigt.

Die Wirkungen des Luftdruckes sind, wie ich glaube, in der Tabelle unverkennbar nachgewiesen, obgleich hier, wo es sich um verhältnissmässig geringe Wirkungsgrössen handelt, einzelne Ausnahmen durchaus unvermeidlich sind.

Die in die Barometerstände 330‴ und 340‴ fallenden Beobachtungen sind im Vergleiche zu den übrigen Rubriken wenig zahlreich und desshalb auch weniger zuverlässig. Da ferner die Temperaturen in den einzelnen Rubriken ziemliche Verschiedenheiten darbieten, so müssen wir die dadurch hervorgebrachten Störungen beseitigen, wobei wir uns der Seite 80 enthaltenen Thatsachen bedienen. Dadurch erhält, wenn wir sämmtliche Temperaturen in + 16° verwandeln, unsere Tabelle folgende Veränderungen:

*Zweite Tabelle.*

| Barometerstand | Puls | Exspirationsfrequenz | Volum einer Exspiration | In 1 Minute exspirirte | | Relative Kohlensäure |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Luft | Kohlensäure | |
| 330 | 71,1 | 11,40 | 540,8 | 6165 | 276,82 | 4,480 |
| 332 | 70,9 | 11,54 | 526,7 | 6078 | 276,69 | 4,552 |
| 334 | 70,8 | 11,81 | 518,2 | 6119 | 264,03 | 4,319 |
| 336 | 73,2 | 12,12 | 527,7 | 6395 | 271,61 | 4,248 |
| 338 | 71,3 | 12,56 | 540,9 | 6793 | 287,68 | 4,181 |
| 340 | 72,1 | 12,28 | 519,1 | 6629 | 254,18 | 3,993 |

Die entstandenen Correktionen sind meistens der oben ausgesprochenen Gesetzmässigkeit entsprechend ausgefallen, mit der, freilich sehr bedeutenden, Ausnahme der letzten Barometerrubrik.

Theilen wir die vorstehende Tabelle in zwei gleiche Hälften, je nach dem höheren und niederen Barometerstande, so ergibt sich Folgendes:

*Dritte Tabelle.*

| Barometerstand | Puls | Exspirationen | Volum einer Exspiration | In 1 Minute exspirirte | | Relative Kohlensäure |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Luft | Kohlensäure | |
| 332‴,04 | 70,9 | 11,58 | 528,6 | 6121 | 272,51 | 4,450 |
| 337‴,71 | 72,2 | 12,32 | 529,2 | 6607 | 271,16 | 4,141 |

Ein Steigen des Barometers um 5‴,67 bringt demnach folgende Veränderungen in den respiratorischen Funktionen zu Stande: eine Vermehrung der Pulsschläge in 1 Minute um 1,3 Schläge;

„ „ „ Exspirationen „ „ „ 0,74 Athembewegungen;

„ „ des Volums einer Exspiration „ 0,6 Kub. Cent.

„ „ „ „ der in 1 Minute ausgeathmeten Luft „ 586 „ „

„ Verminderung der absoluten Kohlensäure „ 1,35 „ „

„ „ „ relativen „ „ 0,309 %.

Die freilich höchst unbedeutende Verminderung der absoluten Kohlensäure bei verstärktem Luftdrucke ist, den Resultaten der ersten Tabelle entgegen, durch die bedeutende Temperatur-Correktion entstanden, welche in der zweiten Tabelle mit der letzten Barometerrubrik vorgenommen werden musste. Höchst wahrscheinlich ist bei der um das angegebene Maass verstärkten atmosphärischen Pression die absolute Kohlensäure ein wenig vermehrt. Die beiden Rubriken der niedersten und höchsten Barometerstände sind, wie schon gesagt, aus verhältnissmässig wenigen Beobachtungen

zusammengesetzt; die vier übrigen, aus sehr vielen Beobachtungen bestehenden und desshalb zuverlässigeren, Rubriken bestätigen unsere Behauptung hinsichtlich der Barometerwirkungen ganz evident.

Nichts kann die in Voranstehendem aufgefundenen Thatsachen mehr unterstützen und den möglichen Einwurf, dieselben seien dennoch nicht vollständig ausser Zweifel gestellt, gründlicher widerlegen, als eine Zusammenstellung der Beobachtungen in anderer Weise. Die zu der ersten Tabelle benützten Beobachtungen sind in den beiden folgenden Tabellen in der Art in zwei gleiche Theile getheilt, dass die bei den höheren Temperaturen gemachten Beobachtungen der einen, die bei den niederen Wärmegraden angestellten der anderen Tabelle zugewiesen werden. Sehen wir, ob auch jetzt noch die früher erhaltenen Thatsachen ihre Bestätigung finden.

*Vierte Tabelle.*

| Barometerstand | Temperatur | Pulsfrequenz (in 1 Minute) | Exspirationsfrequenz (in 1 Minute) | Volum einer Exspiration (in Kub. Cent., reducirt auf + 37° C. und 336‴ Barometer) | Ausgeathmete Luft (in 1 Minute) | Ausgeathmete Kohlensäure (in 1 Minute) | Relative Kohlensäure |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 339‴,69 | 9°,1 | 72,8 | 12,72 | 543,1 | 6908 | 263,78 | 3,818 |
| 337‴,51 | 19°,6 | 69,8 | 12,36 | 555,1 | 6861 | 292,12 | 4,255 |
| 335‴,75 | 19°,8 | 72,5 | 12,06 | 509,6 | 6145 | 258,41 | 4,205 |
| 334‴,09 | 19°,5 | 70,0 | 11,61 | 513,2 | 5958 | 256,09 | 4,298 |
| 331‴,87 | 19°,6 | 70,8 | 11,27 | 515,4 | 5808 | 247,33 | 4,258 |
| 330‴,42 | 19°,1 | 70,3 | 10,97 | 509,8 | 5592 | 250,68 | 4,482 |

*Fünfte Tabelle.*

| Barometerstand | Temperatur | Pulsfrequenz | Exspirationsfrequenz | Volum einer Exspiration | Ausgeathmete Luft in 1 Minute in Kubikcentimetern | Ausgeathmete Kohlensäure in 1 Minute in Kubikcentimetern | Relative Kohlensäure |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 339‴,64 | 4°,9 | 74,0 | 12,82 | 537,9 | 6896 | 294,47 | 4,270 |
| 337‴,71 | 8°,8 | 72,7 | 12,83 | 547,9 | 7029 | 306,05 | 4,353 |
| 335‴,90 | 9°,7 | 74,3 | 12,28 | 553,8 | 6800 | 293,81 | 4,321 |
| 334‴,07 | 7°,9 | 71,5 | 12,27 | 529,6 | 6498 | 277,21 | 4,266 |
| 331‴,88 | 8°,8 | 71,1 | 12,09 | 549,1 | 6638 | 335,41 | 5,053 |
| 329‴,90 | 10°,4 | 72,3 | 11,98 | 578,2 | 6926 | 311,26 | 4,494 |

Theilen wir jede dieser beiden Tabellen in zwei Hälften, je nach dem höheren oder tieferen Barometerstande, so ergibt sich für die höheren Wärmegrade:

*Sechste Tabelle.*

| Barometer | Temperatur | Pulsfrequenz | Exspirationsfrequenz | Volum einer Exspiration | Ausgeathmete Luft in 1 Minute in Kubikcentimetern | Ausgeathmete Kohlensäure in 1 Minute in Kubikcentimetern | Relative Kohlensäure |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 337‴,65 | 16°,2 | 71,7 | 12,47 | 535,9 | 6638 | 271,44 | 4,093 |
| 332‴,13 | 19°,4 | 70,4 | 11,28 | 512,8 | 5786 | 251,37 | 4,346 |

Die bei den niederen Temperaturen gemachten Beobachtungen zeigen folgende Verhältnisse:

*Siebente Tabelle.*

| Barometer | Thermometer | Pulsfrequenz | Exspirationsfrequenz | Volum einer Exspiration | Ausgeathmete in 1 Minute: Luft | Ausgeathmete in 1 Minute: Kohlensäure | Relative Kohlensäure |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 337‴,75 | 7°,8 | 73,7 | 12,64 | 546,5 | 6908 | 298,11 | 4,314 |
| 331‴,95 | 9°,0 | 71,6 | 12,11 | 552,3 | 6687 | 301,29 | 4,587 |

Eine Vergleichung der sechsten und siebenten Tabelle mit der dritten zeigt uns, wenigstens für die grosse Mehrzahl der Rubriken, eine auffallende Uebereinstimmung der Wirkungen des Luftdruckes auf die Anzahl der Pulsschläge, der Exspirationen, auf die in einer gewissen Zeit überhaupt exhalirte Luftmenge und auf das Verhältniss, in welchem die letztere zu der Ausscheidung der Kohlensäure steht. Unentschieden muss ich aber die Fragen über die Volumverhältnisse der einzelnen Exspirationen und über die absolute Kohlensäuremenge lassen.

Auffallend ist es ferner, dass die Wirkungen der verschiedenen atmosphärischen Pression bei höheren Wärmegraden viel deutlicher erscheinen. Hierüber, wie überhaupt über alle in diesem Kapitel aufgefundenen Thatsachen bin ich durchaus unfähig, eine wissenschaftliche Erklärung zu geben, was mich jedoch nicht abgehalten hat, diesem Gegenstande die grösste Sorgfalt zu widmen. Die Zeit wird kommen, in welcher wir die Thatsachen über den Einfluss des Luftdruckes auf das Athmen zu erklären im Stande sein werden; durch nichts kann aber diese, für die Theorie der Respiration hochwichtige, Frage mehr gefördert werden, als durch eine grosse Anzahl genauer Experimente und Beobachtungen.

## Viertes Kapitel.

*Ueber den Einfluss der Verdauung auf das Athmen.*

Es gibt vielleicht nur wenige Funktionen, welche die Respiration so sehr zu beschleunigen im Stande sind, wie die Verdauung, deren in gleicher Weise sich manifestirender Einfluss auf einige andere Se- und Exkretionen ebenfalls, wenigstens annähernd, gekannt ist *).

Wir können die im zweiten Abschnitte enthaltenen Beobachtungen auf doppelte Weise zusammenstellen, um zur Erkenntniss der Wirkung zu gelangen, welche die fragliche Funktion auf das Athmen ausübt. Einmal haben wir einfach die zwei bis drei auf die Mahlzeiten folgenden Stunden mit der denselben unmittelbar vorangehenden zu vergleichen, wozu wir die Resultate der Tabelle Seite 70 benützen können, aus welcher für die erste Stunde nach der Mahlzeit ein Ansteigen, für die zweite das Maximum und für die darauffolgenden eine allmälige Abnahme der respiratorischen Funktionen hervorgeht. Zwischen 12 Uhr (als der Zeit vor dem Mittagessen) und 2 Uhr (also eine bis zwei Stunden nach ein-

*) Ich theile hier die bis jetzt bekannt gewordenen Thatsachen über den Einfluss der Nahrungsmittel auf die Respiration mit. *Lavoisier* und *Séguin* fanden bei kleinen Säugethieren, *Spallanzani* bei Schnecken, *Sorg* bei Insekten, *Scharling* beim Menschen, nach Aufnahme von Nahrung eine Vermehrung der Kohlensäure. Während diese Angaben sich auf die absoluten Kohlensäurequantitäten beziehen, ist nach *Coathupe* die relative Kohlensäure am geringsten gerade während der Verdauung. Bei stickstoffhaltiger Nahrung fanden bei Meerschweinchen *Lassaigne* und *Yvart* eine Vermehrung der Kohlensäure, was sie jedoch bei einigen andern Thieren nicht bemerken konnten. Ein Sinken der relativen Kohlensäuremenge bemerkte *Prout* nach dem Genusse von starkem Thee, überhaupt bei vegetabilischer Diät, nach Quecksilbergebrauch, besonders aber in höchst auffallender Weise nach dem Genusse von spirituösen Getränken, wobei er noch zufügt, dass die Wirkung der letzteren bei leerem Magen auffallender und sehr schnell sei. Endlich sollen nach *Dulong* Pflanzenfresser verhältnissmässig mehr Stickstoff ausathmen, als Fleischfresser.

genommener Mahlzeit, zu einer Zeit, in der die Verdauung ihren Höhepunkt erreicht) ergeben sich für die verschiedenen respiratorischen Funktionen folgende Unterschiede:

| | | |
|---|---|---|
| Pulsfrequenz in 1 Minute | 15,2 | Schläge |
| Respirationsfrequenz „ „ | 1,5 | Athemzüge. |
| Volum einer Exspiration | 20 | Kub. Cent. |
| In 1 Minute exspirirte Luftmenge | 1221 | „ „ |
| „ „ „ „ Kohlensäure | 48 | „ „ |

Diese Differenzen sind bedeutend, wie überhaupt für die von mir untersuchten Tageszeiten die Stunde von 2—3 das Maximum, dagegen die von 12 — 1, wenigstens für einige respiratorische Funktionen, das Minimum der Energie des Athmens repräsentirt.

Ich stellte zweitens die Beobachtungen von denjenigen, zwischen Nr. 228 bis zu Ende der Versuchsreihe liegenden Tagen zusammen, in welchen um 12 Uhr einerseits und 2 Uhr andererseits, also kurz vor der Mittagsmahlzeit und während des Höhepunktes der Verdauung vergleichende Untersuchungen angestellt wurden. Es standen 18 Tage zu Gebote, welche im Mittel folgende Resultate lieferte:

*Erste Tabelle.*

| Zeit | Pulsfrequenz in 1 Minute | Exspirationen in 1 Minute | Volum einer Exspiration | in 1 Minute ausgeathmete Luft | in 1 Minute ausgeathmete Kohlensäure | Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | in Kubikcentimetern | | | |
| 12h | 66,5 | 11,55 | 515,3 | 5945 | 258,61 | 4,32 |
| 2h | 82,3 | 12,77 | 529,0 | 6757 | 295,75 | 4,37 |
| Differenzen | 15,8 | 1,22 | 13,7 | 712 | 37,14 | 0,05 |

Die durch beide vorhergehenden Zusammenstellungen erhaltenen Differenzen in der Energie der respiratorischen Funktionen zwischen der Zeit vor und nach dem Mittagessen können nur annähernd

übereinstimmen, da in der ersten Zusammenstellung alle Tage ohne Unterschied, in welche Beobachtungen auf die eine oder auf die andere der genannten zwei Stunden fallen, dagegen in der voranstehenden Tabelle nur diejenigen Tage aufgenommen wurden, in welchen nicht nur um 11 Uhr, sondern auch um 2 Uhr Beobachtungen angestellt wurden.

Die für die auf S. 91 mitgetheilte Tabelle verwendbaren Beobachtungen sind nicht zahlreich genug, um die aus jeder einzelnen Beobachtung sich ergebenden Abweichungen von den Mittelwerthen zu erklären. Ich mache desshalb bloss auf einige Thatsachen aufmerksam. In dreien Fällen (Nr. 256, 281, 350) wurde sogar, im Verhältnisse zu 12 Uhr, eine Verminderung von 17, 18 und 4 Kub. Cent. Kohlensäure während der Verdauung gefunden. Das Maximum zeigt Nr. 418, indem die Zunahme der Kohlensäure 113 Kub. Cent., also fast die Hälfte der vor der Verdauung aufgefundenen Quantität beträgt. Die grosse Mehrzahl der Beobachtungen jedoch steht dem angegebenen Mittelwerthe mehr oder weniger nahe. Es könnte hier hinsichtlich der übrigen, bei der Respiration in Betracht kommenden, Momente noch Manches besprochen werden, z. B. das gegenseitige Verhältniss, in welchem die verschiedenen respiratorischen Funktionen hinsichtlich ihrer Energie während des Aktes der Verdauung stehen, wenn ich hoffen dürfte, aus den hieraus erhaltenen Thatsachen einen Schluss ziehen zu können.

Einen Einfluss irgend eines Nahrungsmittels konnte ich, abgesehen von der verhältnissmässig geringen Zahl von Beobachtungen, nicht entdecken, da keine Speise in vorwiegender Quantität von den übrigen genossen wurde. Obschon die Kost ziemlich mannigfaltig war, so sind doch die Beobachtungen unter sich vergleichbar. Jede Mahlzeit bestand aus Suppe, zwei oder drei Fleischsorten, Gemüse und einer Tasse Kaffee und währte regelmässig ½ Stunde. Hinsichtlich des Getränkes finden aber bedeutende und nicht zu übersehende Verschiedenheiten statt. Bis Nr. 410 trank ich über Tisch eine halbe Flasche Wein, welcher Gewohnheit ich von dieser Zeit an, anfangs bloss des Experimentes wegen, entsagte. Sowohl direkte bald anzuführende Ver-

suche über die Wirkung der spirituösen Getränke bei leerem Magen, als auch die nachfolgenden Zusammenstellungen zeigen, dass der Genuss des Weines bei der Mahlzeit einen bedeutenden Einfluss auf die Ausscheidung der Kohlensäure hat.

Wenn wir nämlich die 18 Beobachtungen der obigen Tabelle in zwei Rukriken sondern, je nachdem während der Mahlzeit Wein genossen wurde, oder nicht, so erhalten wir auf jeder Seite neun Beobachtungen. Diese liefern im Mittel folgende Resultate.

*Zweite Tabelle.*

Mahlzeiten, während welcher ich Wein trank.

| Zeit | Pulsschläge in 1 Minute | Exspirationen in 1 Minute | Volum einer Exspiration in Kubikcentimetern | Ausgeathmete Luft in 1 Minute | Ausgeathmete Kohlensäure in 1 Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft | Temperaturmittel |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12h | 68,3 | 12,00 | 474,9 | 5717 | 253,04 | 4,33 | 18°,1 C. |
| 2h | 85,8 | 13,22 | 484,9 | 6429 | 273,00 | 4,20 | |
| Differenzen | 17,5 | 1,22 | 10,0 | 712 | 19,96 | | |

Mahlzeiten ohne Genuss von Wein.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12h | 64,7 | 11,11 | 555,7 | 6173 | 264,18 | 4,31 | 13°,3 C. |
| 2h | 77,8 | 12,33 | 572,9 | 7085 | 318,50 | 4,52 | |
| Differenzen | 13,1 | 1,22 | 17,2 | 912 | 54,02 | | |

In beiden Theilen dieser Tabelle findet während der Verdauung eine Zunahme sämmtlicher respiratorischen Funktionen statt, jedoch nach den Mahlzeiten ohne Genuss von Wein in viel stärkerem Grade, wenigstens für die Mehrzahl der hier in Betracht kommenden Funktionen. Diese Differenzen zwischen den einzelnen Rubriken

der voranstehenden Tabelle sind aber, namentlich hinsichtlich der ausgeathmeten Kohlensäure, so gross, dass es mir nicht beifallen kann, dieselben für mehr als annähernd richtig zu halten, weil eine verhältnissmässig kleine Zahl von Beobachtungen, selbst wenn sämmtliche vollkommen richtig wären, die angeregte Frage noch nicht vollständig lösen kann.

Mit der Vergleichung der Energie der respiratorischen Funktionen während der Stunden 12 und 2 ist jedoch der Einfluss der Verdauung noch nicht vollständig erkannt, da mannigfaltige Ursachen, abgesehen von der Verdauung, um 2 Uhr möglicherweise eine bedeutende Alteration in der Ausscheidung der Kohlensäure bedingen können. In der That ist dieses, und zwar in sehr auffallender Weise, der Fall. Ich stellte zweimal (Nr. 567 und 575) Beobachtungen um 1 Uhr und 2 Uhr an, ohne vorher gegessen zu haben, sodass ich seit dem Frühstücke (seit 7 Stunden) keine Speise zu mir genommen hatte. Im Mittel wurde sodann beobachtet:

*Dritte Tabelle.*

| Zeit | Pulsfrequenz in 1 Minute | Athemfrequenz in 1 Minute | Volum einer Exspiration | In 1 Minute ausgeathmete | | Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Luft | Kohlensäure | |
| | | | in Kubikcentimetern | | | |
| $12^h$ | 63 | 10 | 545 | 5450 | 270,22 | 4,69 |
| $1^h$ | 64 | 9 | 527 | 4743 | 241,78 | 5,09 |
| $2^h$ | 62,5 | $9^1/_2$ | 575 | 5479 | 258,18 | 4,73 |

Jetzt erst sind wir im Stande, den enormen Einfluss, den die Verdauung auf die Respiration ausübt, deutlicher zu erkennen, wenn wir die eben erhaltenen Resultate mit den übrigen, in derselben Zeit, aber nach vorhergegangener Mahlzeit gemachten Beobachtungen vergleichen. Statt einer sehr bedeutenden Beschleunigung der Respiration fällt jetzt eine Verlangsamung derselben auf. Die einzelnen Funktionen müssten, wenn wir die in der ersten Tabelle dieses Kapitels enthaltenen Thatsachen benützen,

um 2 Uhr, wenn eine gewöhnliche Mittagsmahlzeit vorangegangen wäre, folgende Werthe annehmen:

| Puls | Exspirationen | Volum einer Exspiration | In 1 Minute ausgeathmete Luft | In 1 Minute ausgeathmete Kohlensäure | Relative Kohlensäure |
|---|---|---|---|---|---|
| 78,8 | 11,22 | 558,7 | 6162 | 307,36 | 4,74 |

Es zeigen die in der dritten Tabelle in der Rubrik 2 Uhr enthaltenen Zahlen für die einzelnen Funktionen folgende Differenzen von den so eben aufgeführten Werthen:

Für die Pulsfrequenz 16,3 Pulsschläge.
„ „ Respirationsfrequenz 1,72 Athemzüge.
„ „ in 1 Minute exspirirte Luft 683 Kub. Cent.
„ „ „ „ „ „ Kohlensäure 49,18 „

*Diese Zahlen enthalten folglich den wahren Ausdruck der Wirkung der Verdauung auf die verschiedenen respiratorischen Funktionen.* Nur für das durch eine Exspiration ausgeathmete Luftvolum würde beim Fasten eine Vermehrung von 16,3 Kub. Cent. resultiren, was vielleicht wirklich der Fall ist, wenn man bedenkt, dass bei starker Anfüllung des Magens tiefe Inspirationen ziemlich beschwerlich fallen. Die Erfahrungen von 1 Uhr geben hierin jedoch ein ganz anderes Resultat, sodass ich hinsichtlich des Volums einer Exspiration kein bestimmtes Urtheil fällen kann. Wenn auch die Zahl der für die dritte Tabelle benützten Beobachtungen sehr gering ist, so bieten sie doch übereinstimmende Resultate und es stehen denselben sehr viele nach den Mahlzeiten angestellte Beobachtungen über die Wirkung der Verdauung auf das Athmen als Controlle gegenüber, sodass die aus denselben gezogenen Schlüsse einen ziemlich hohen Grad von Genauigkeit ansprechen dürfen.

Eine zweite Frage ist aber, ob nicht die Verdauung während der Mittagsmahlzeit andere Resultate als in irgend einer andern Tageszeit bedingt. Durch die Vergleichung meiner vor und nach den Abendmahlzeiten (also um 8 Uhr einerseits und 9 Uhr andererseits) angestellten Versuche kann dieser Gegenstand annähernd beantwortet werden, obgleich mir hinsichtlich der absoluten Kohlensäuremenge nur zwei Beobachtungen zu Gebote stehen. Als Mittel aus den letzteren ergibt sich:

*Vierte Tabelle.*

| Zeit | Pulsfrequenz in 1 Minute | Athemfrequenz in 1 Minute | Volum einer Exspiration | In 1 Minute ausgeathmete | | Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Luft | Kohlensäure | |
| | | | in Kubikcentimetern | | | |
| Abends | | | | | | |
| 8h | 64,5 | 11 | 486 | 5346 | 227,50 | 4,25 |
| 9h *) | 68 | 11 | 487 | 5352 | 258,75 | 4,83 |
| Differenzen | 4,5 | 0 | 1 | 6 | 31,25 | 0,58 |

Dagegen enthält der Anfang meiner Versuchsreihe (wobei noch keine Rücksicht auf die absolute Kohlensäuremenge genommen ist) 18 Beobachtungen, welche für unseren Zweck verwendet werden können. Sie ergeben im Mittel:

*Fünfte Tabelle.*

| Zeit | Pulsfrequenz | Exspirationsfrequenz | Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft |
|---|---|---|---|
| Abends | | | |
| 8h | 73,3 | 10,2 | 4,17 |
| 9h | 72,0 | 10,7 | 4,32 |

Wenn wir annehmen, dass in beiden Stunden das Volum einer Exspiration 500 Kub. Cent. betrug, wobei wir sicher keinen grossen

*) Ich muss diese Stunde wählen, da auf 10 Uhr, also wahrscheinlich während des Maximums der Verdauung, viel zu wenig Beobachtungen fallen. Man darf nicht vergessen, dass dagegen bei den Untersuchungen über die Verdauung der Mittagsmahlzeit bloss diejenigen Werthe benützt wurden, welche dem Maximum der Energie der Respiration entsprechen.

Fehler begehen, indem die Differenzen hinsichtlich der Volumverhältnisse einer Exspiration vor und während der Verdauung nicht bedeutend sind, so würde sich die absolute Kohlensäure für 8 Uhr in 1 Minute auf 212,67 Kub. Cent. und für 9 Uhr auf 231,12 Kub. Cent. belaufen.

Im Allgemeinen ergibt sich, dass die respiratorischen Funktionen während der Verdauung der Abendmahlzeit mit etwas geringerer Energie auftreten, als nach dem Mittagessen; genaue, in Zahlen ausgedrückte Vergleichungen wage ich jedoch nicht zu geben. Sehr auffallend ist aber die Ausnahme, welche die Pulsfrequenz macht. Der Puls erleidet nämlich durch das Abendessen die bedeutende Frequenzzunahme durchaus nicht, welche nach der Mittagsmahlzeit erfolgt; er bleibt sich fast gleich, eine Beobachtung, welche auch *Guy* gemacht hat. Wir sind freilich durchaus nicht im Stande, den Grund dieser merkwürdigen Verschiedenheiten einzusehen.

Ueber die Wirkung der spirituösen Getränke bei leerem Magen habe ich mehrere Beobachtungen (Nr. 40, 136, 307, 315) angestellt, deren Wiederholung hier überflüssig ist, wesshalb ich bloss auf die Resultate aufmerksam mache. Dreimal erfolgte sehr schnell (schon nach Verlauf einer Viertelstunde) eine Abnahme der relativen Kohlensäure, indem sie im Mittel von 4,54 % auf 4,01 % sank. Dabei nahm die Frequenz der Exspirationen keineswegs zu, so dass nach dem Genuss der Spirituosen auch die absolute Kohlensäurequantität abnimmt, und zwar um nicht weniger als ein Achtel. Bloss einmal (Nr. 315) erfolgte keine Veränderung in der relativen Kohlensäure, wobei zugleich auch die Pulsfrequenz nicht zunahm, während bei den übrigen Experimenten die Wirkung des Weines und Bieres sich durch eine, in einer Minute im Mittel 11 Schläge betragende, Vermehrung der Pulsfrequenz manifestirte. Es wäre nicht uninteressant, zu untersuchen, ob die Pulsfrequenz nach dem Genusse spirituöser Getränke Morgens und Abends ähnliche Verschiedenheiten zeigt, wie dieses bei der Verdauung der Fall ist.

## Fünftes Kapitel.

*Ueber den Einfluss der körperlichen Bewegung auf die Respiration.*

Die selbst bei nur gelinder Körperbewegung bei jedem Menschen vorkommende Beschleunigung der Athemzüge beweist den grossen Einfluss, welchen die Zustände des Bewegungsapparates auf die Ausscheidung des kohlensauren Gases ausüben, eine Frage, die ich mittelst meiner Untersuchungsmethode allerdings nicht vollständig lösen konnte, da die Anwendung derselben einen vollkommen ruhigen Zustand des Körpers bedingt. Ich konnte desshalb bloss meine Beobachtungen über die Puls- und Athemfrequenz *während* der Bewegung, sowie über den Kohlensäuregehalt der exspirirten Luft einige Zeit *nach* der Bewegung zur Beantwortung des fraglichen Gegenstandes benützen; dagegen über die Mischung der exspirirten Luft während der Bewegung und über das, unter denselben Umständen durch *eine* Exspiration ausgeathmete Luftvolum keine Untersuchungen anstellen *).

In Nr. 256 ist die Zahl der Athemzüge in einer Minute 13, das durch eine Exspiration ausgeathmete Luftvolum 394 Kub. Cent., die in einer Minute überhaupt ausgeathmete Luft 5122 Kub. Cent.; die in derselben Zeit exspirirte Kohlensäure 242,78 Kub. Cent. Bei einem, unmittelbar darauf folgenden, 1 Stunde und 5 Minuten dauernden Spaziergange war die Zahl meiner Exspirationen in einer Minute bei mässiger Bewegung im Mittel 17½, so dass ich während des Gehens etwa 1200 Exspirationen machte,

---

*) In einem sehr grossen und geräumigen Kasten, in welchem einige Bewegung gestattet ist, könnte der Einfluss der Körperbewegung auf die Exhalation der Kohlensäure am besten untersucht werden. —

*Prout* ist, so viel mir bekannt, der einzige, der in seiner mehrerwähnten Abhandlung über diesen Gegenstand Beobachtungen angestellt hat. Er fand zu Anfang mässiger Bewegung eine Vermehrung der relativen Kohlensäuremenge; bei Ermüdung jedoch, oder bei heftiger Bewegung gleich anfangs, eine Abnahme derselben. Nach einer heftigen Anstrengung soll nach ihm immer eine beträchtliche Verminderung eintreten.

während die Zahl der Athemzüge im Zustande der Ruhe bloss etwa 845 gewesen wäre; demnach wurden die Respirationen um fast ein Drittel beschleunigt. Wenn wir nun das Volum und den Kohlensäuregehalt einer Exspiration in beiden Zuständen als unverändert annehmen, ein Fehler, der wahrscheinlich nicht sehr bedeutend ist, so würde sich während des Spazierganges in einer Minute ein Kohlensäureverlust von 326,82 Kub. Cent., also eine Vermehrung von 84 Kub. Cent. ergeben; während die Quantität der in derselben Zeit exspirirten Luft auf 6895 K. C. steigt, also um 1773 K. C. zunimmt. Starke Bewegung, bei welcher die Respiration endlich in Keuchen übergeht, muss natürlich einen noch viel grösseren, im Vergleiche zum ruhigen Zustande ganz enormen Kohlensäureverlust ergeben.

Aber nicht bloss *während* der Körperbewegung, sondern auch *nachher*, wenn ich bereits einige Zeit (1/4 bis 1 Stunde) mich vollkommen ruhig verhalten hatte, erhielt ich eine grössere Quantität Kohlensäure, als wenn vorher keine Bewegung erfolgt wäre. Es stehen 18 Beobachtungen zu Gebote, die um so mehr Sicherheit gewähren, als sie zu verschiedenen Tageszeiten angestellt sind und dadurch eine allseitigere Beantwortung unserer Frage möglich machen. In die Zwischenzeit zwischen je zwei derselben fällt eine länger oder kürzer andauernde Körperbewegung. Die *vor* und *nach* der Bewegung gemachten Beobachtungen ergeben im Mittel folgende Resultate.

| | In einer Minute ausgeathmete Luft | In einer Minute exspirirte Kohlensäure | Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft |
|---|---|---|---|
| | in Kubikcentimetern. | | |
| a) Vor der Bewegung | 5914 | 242,91 | 4,125 |
| b) Nach der Bewegung | 5829 | 241,76 | 4,165 |

Die beiden Rubriken a und b dieser Tabelle können natürlich nicht mit einander verglichen werden, da die in denselben gemachten

Beobachtungen 1 bis 3 Stunden aus einander liegen, welcher Zeitunterschied grosse Verschiedenheiten in der Respiration bedingt. Wenn wir aber, mit Hülfe der über die Energie der respiratorischen Funktionen zu verschiedenen Tageszeiten mitgetheilten Tabelle, aus jeder einzelnen, in der Rubrik a enthaltenen Beobachtung denjenigen Kohlensäurewerth bestimmen, welcher der in der Rubrik b vorkommenden Stunde entspricht, so erhalten wir da die Daten der erwähnten, zu unserer Berechnung benützten Tabelle, sich auf den Zustand der körperlichen Ruhe beziehen, diejenigen Mengenverhältnisse der Kohlensäure, welche der vollkommen ruhig erfolgenden Respiration ohne vorhergegangene körperliche Bewegung entsprechen. Die Differenzen der auf diese Weise erhaltenen Zahlen von den Zahlen der Rubrik b in der voranstehenden Tabelle sind demnach ungefähr *der Ausdruck der Wirkung, welche die Bewegung auf die Respiration selbst dann noch ausübt, wenn der Körper bereits wieder im Zustande der Ruhe sich befindet.*

Die Zahlen der Rubrik b ändern sich alsdann in folgende um:

| Exspirirte Luft. | Exspirirte Kohlensäure. | Relative Kohlensäure. |
|---|---|---|
| 5518 | 222,13 | 4,025 |

Demnach ergibt sich für unseren Fall eine Vermehrung von 311 Kub. Cent. für die in einer Minute ausgeathmete Luft; von 19,63 K. C. für die in derselben Zeit exspirirte Kohlensäure und von 0,140 % für die relative Kohlensäure. Diese Zahlen sind nur approximativ wahr und ich würde die ganze Betrachtung gar nicht mitgetheilt haben, wenn nicht in jedem einzelnen Falle, mit kaum einer Ausnahme, die erwähnte Thatsache sich wiederholte. *Es ist folglich die körperliche Bewegung von sehr grossem und nachhaltendem Einflusse auf die Ausscheidung der Kohlensäure.* Einige in der Versuchsreihe aufgeführte, nach Reiten, Fechten und viele Stunden hindurch währendem Tanzen angestellten Beobachtungen zeigen ebenfalls, trotz der bedeutenden körperlichen Anstrengungen, welche vorangegangen waren, eine Zunahme der Kohlensäuremenge. —

Ueber den Kohlensäureverlust während der grössten körperlichen Ruhe, nämlich während des *Schlafes*, konnte ich mit meinem Apparate natürlich keine Beobachtungen anstellen. Einige zu Anfang der Versuchsreihe mitgetheilten Beobachtungen zeigen jedoch, dass die relative Kohlensäure während der Nacht im wachenden Zustande ganz unbedeutend sinkt. Auffallend ist die sehr energische Ausscheidung der Kohlensäure unmittelbar nach dem Erwachen; es scheint, dass dieses vor Allem in der Zeit gegen Tagesanbruch, oder richtiger gesagt, nachdem der Körper mehrere Stunden geruht hat, der Fall ist. Unter diesen Umständen ist die relative Kohlensäuremenge im Verhältnisse zu den nachfolgenden Stunden in der That sehr bedeutend vermehrt, wie ein kurzer Blick in die Versuchsreihe ergibt *).

*) *Prout* macht dieselbe Bemerkung: „Unmittelbar nach dem Aufwachen und so zu sagen in dem Akte des Erwachens selbst fand ich die Menge der Kohlensäure sehr beträchtlich. Diess ist jedoch von kurzer Dauer; in einer halben Stunde ist sie eher unter dem gewöhnlichem Maasse.“ (Das letztere habe ich nicht bestätigt gefunden).

# Vierter Abschnitt.

## *Experimente über den Einfluss der Athembewegungen auf den Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft* *).

Von grösstem Einfluss auf die Ausscheidung der Kohlensäure sind die Respirationsbewegungen; vor allem die *Frequenz* und die *Tiefe* der Athemzüge. Diese und einige andere, hierher gehörende Fragen sind in den folgenden Kapiteln mittelst des Experimentes untersucht.

---

## Erstes Kapitel.

### *Ueber den Einfluss der Häufigkeit der Athemzüge auf den Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft.*

*Allen* und *Pepys* sind die einzigen, welche, vor mehr als dreissig Jahren, in ihrer bekannten Arbeit über die ausgeathmete Luft **), diesen Gegenstand untersucht haben. Es wird nach ih-

---

*) Den in diesem Kapitel abgehandelten Gegenstand habe ich bereits vor einigen Monaten bekannt gemacht im Archiv für physiologische Heilkunde von *Roser* und *Wunderlich*, Bd. 3, S. 536 u. f. — Ein Auszug davon ist, mit einigen wesentlichen Verbesserungen, in den Comptes rendus, 1844, Nr. 20 enthalten.

**) *W. Allen* und *W. H. Pepys:* über die durch den Athmungsprocess in der atmosphärischen Luft und dem Sauerstoffgase bewirkten Veränderungen. *Schweigger's* Journal. Band 1. S. 182 u. s. w.

nen bei schnellem Athmen in einer bestimmten Zeit viel mehr Kohlensäure erzeugt, als bei langsamer Respiration; aber das Verhältniss der Kohlensäure zu der überhaupt ausgeathmeten Luft bleibt immer dasselbe, mögen die Athembewegungen schnell oder langsam erfolgen. Die erste Behauptung ist unstreitig wahr; zu der zweiten sind jene Physiker jedoch nicht einmal durch ihre eigenen Versuche berechtigt. In ihrem 11. Versuche athmete der eine derselben während 11 Minuten in 3437 Würfelzoll Luft 292,14 W. Z. Kohlensäure aus, während ihr Gehülfe in 5½ Minuten in 3311 W. Z. Luft 281,45 W. Z. Kohlensäure exspirirte. Beide Versuche wurden durch keine Gegenversuche bestätigt und zudem an verschiedenen Menschen angestellt, sodass dieselben durchaus nicht mit einander verglichen werden können; ferner zeigen beide Experimente hinsichtlich ihrer Respirationsfrequenz verhältnissmässig nur geringe Differenzen, indem bei dem zweiten Experimente die Respiration nur doppelt so schnell erfolgte, als bei dem ersten Versuche. Es musste dadurch, wie wir bald sehen werden, die Kohlensäure in der That in dem zweiten Versuche um 0,8 % abnehmen; doch konnten viele anderen, in der Individualität des Experimentirenden liegenden Ursachen diese Abnahme wieder vollkommen ausgleichen, so dass eine gleiche Kohlensäurequantität in beiden Experimenten resultiren konnte, wodurch *Allen* und *Pepys* zu ihrer durchaus nicht erwiesenen Behauptung gelangten.

Ich habe diese Frage in der Art untersucht, dass ich die Mengenverhältnisse der Kohlensäure, welche die ausgeathmete Luft bei gewöhnlicher Häufigkeit der Athemzüge zeigt, mit denjenigen Quantitäten derselben verglich, welche gebildet werden, wenn ich die Zahl der Ausathmungen nach einem bestimmten Verhältnisse zu- oder abnehmen liess.

Die erste Versuchsreihe ergab, bei einer die Norm um das *Doppelte* übertreffenden Athemfrequenz, folgende Resultate:

*Erste Versuchsreihe.*

A. Normales Athmen.

| Nr. | Tag | Stunde | Ausathmungen in einer Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft. |
|---|---|---|---|---|
| 320 | 9. August | $10^h$ | 12 | 4,40 |
| 321 | „ | $11^h5'$ | 12 | 3,77 |
| 323 | „ | $5^h$ | 13 | 3,85 |
| 327 | 11. August | $10^h12'$ | 12 | 4,11 |
| 330 | „ | $6^h9'$ | 12 | 4,07 |
| 342 | 1. September | $10^h37'$ | 12 | 4,30 |
| 345 | 2. September | $10^h20'$ | 14 | 4,45 |
| 347 | „ | $4^h17'$ | 13 | 4,19 |
| 351 | 3. September | $3^h$ | 13 | 4,20 |
| 357 | 10. September | $12^h$ | 11 | 4,28 |
| 361 | 17. October | $2^h17'$ | 13 | 4,80 |
| 362 | „ | $3^h18'$ | 13 | 4,68 |
| 486 | 26. Merz | $9^h18'$ | 12 | 4,42 |
| 488 | 27. Merz | $4^h48'$ | 12 | 4,22 |
| 490 | 28. Merz | $3^h19'$ | 12 | 4,41 |
| 495 | 1. April | $5^h9'$ | 12 | 4,22 |
| 497 | 3. April | $3^h19'$ | 13 | 4,37 |
| 522 | 1. Mai | $5^h3'$ | 10 | 3,89 |
| | | | Mittel: | 4,262 |

B. Schnelleres Athmen.

| Nr. | Stunde | Ausathmungen in einer Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft | Unterschied der Kohlensäurewerthe beider Columnen A u. B. |
|---|---|---|---|---|
| 320 a | $10^h40'$ | 24 | 3,11 | 1,29 |
| 321 a | $11^h49'$ | 24 | 2,80 | 0,97 |
| 323 a | $5_h33'$ | 26 | 3,04 | 0,81 |
| 327 a | $10^h49'$ | 24 | 3,15 | 0,96 |
| 330 a | $6^h33'$ | 24 | 3,06 | 1,01 |
| 342 a | $10^h44'$ | 24 | 3,39 | 0,91 |
| 345 a | $10^h30'$ | 28 | 3,48 | 0,97 |
| 347 a | $4_h33'$ | 26 | 3,22 | 0,97 |
| 351 a | $3^h9'$ | 26 | 3,42 | 0,88 |
| 357 a | $12_h11'$ | 22 | 3,45 | 0,83 |
| 361 a | $2^h31'$ | 26 | 3,68 | 1,12 |
| 362 a | $3^h27'$ | 26 | 3,78 | 0,90 |
| 486 a | $9^h42'$ | 24 | 3,44 | 0,98 |
| 488 a | $5^h33'$ | 24 | 3,56 | 0,66 |
| 490 a | $3_h44'$ | 24 | 3,59 | 0,82 |
| 495 a | $5^h14'$ | 24 | 3,24 | 0,98 |
| 497 a | $3^h25'$ | 26 | 3,48 | 0,89 |
| 522 a | $5^h45'$ | 20 | 3,14 | 0,75 |
| | | Mittel: | 3,355 | 0,907 |

Je zwei mit gleichen Nummern versehenen Versuche obiger und der folgenden Reihen sind unter möglichst gleichen Bedingungen, also namentlich zu derselben Stunde angestellt worden, um die Wirkung der der Untersuchung zu unterwerfenden Einflüsse so rein als möglich zu erhalten. Die ersten einander entsprechenden Versuche liegen immer etwa ½ Stunde auseinander, was davon herrührt, dass ich anfangs nur *einen* Behälter zur Aufnahme der ausgeathmeten Luft hatte und desshalb mit dem Gegenversuche warten musste, bis die erste Analyse fertig war. Später bediente ich mich zweier Behälter, welche unmittelbar hinter einander vollgeathmet wurden. Der Umstand, dass im letzteren Falle die in dem einen Exspirator befindliche Luft erst eine halbe Stunde später untersucht werden konnte, bringt der Genauigkeit der Untersuchung keinen Eintrag, da die Kohlensäureabsorption durch die Kochsalzlösung, der ich mich als Sperrflüssigkeit bediente, in meinen Versuchen sehr unbedeutend ist, zumal bei der verhältnissmässig kurzen Zeit, innerhalb welcher das exspirirte Gas mit der Flüssigkeit in Berührung blieb. Eben so wenig dürfte desshalb gegen die Genauigkeit der erhaltenen Zahlenwerthe eine Einwendung gemacht werden können, weil die ersten Versuche beider Reihen nicht kurz hinter einander, sondern in einem halbstündigen Zwischenraume angestellt wurden. Obgleich von Stunde zu Stunde beständige, mehr oder minder starke Schwankungen in den relativen und absoluten Mengenverhältnissen der Kohlensäure vorkommen, so sind diese Fluktuationen jedoch, namentlich in gewissen Tagszeiten und bei Abhaltung einiger, auf die Frequenz der Athemzüge und auf die Blutmischung störend wirkenden Einflüsse der Aussenwelt nicht von der Art, dass ein Zeitunterschied von einer halben Stunde einen erheblichen Beobachtungsfehler bedingen könnte.

Ich war, nachdem ich einige der so eben angeführten Experimente angestellt hatte, in der That nicht wenig erstaunt, fast durchgängig sich gleichbleibende Unterschiede zu entdecken, indem die relative Kohlensäure bei doppelt so schnellen Exspirationen jedesmal ungefähr um 0,907 % geringer war, als bei den normalen vollkommen ruhig vor sich gehenden Athemzügen. Die gering-

fügigen Abweichungen, welche in den einzelnen Versuchen auftreten, sind, abgesehen von den in der Untersuchungsmethode bedingten Fehlern, in den nicht immer vermeidbaren kleinen Ungleichheiten in der Grösse und Dauer der Ausathmungen begründet. Während ich bei normaler Häufigkeit der Athembewegungen beide gleich grosse Exspiratoren in vielen, zu gleicher Zeit angestellten, Probeversuchen jedesmal durch dieselbe Zahl von Ausathmungen und genau in derselben Zeit anfüllte, waren bei den unter den oben genannten Bedingungen angestellten Versuchen der Columne B kleine Abweichungen nicht wohl zu vermeiden. Trotz dieser, in der Ansammlung der exspirirten Gase liegenden, von der analytischen Methode unabhängigen Fehlerquellen habe ich dennoch bei jedem einzelnen Experimente fast übereinstimmende Resultate erlangt, wie denn auch ein Blick auf die Versuchsreihe für derartige Untersuchungen gewiss nur höchst geringe Differenzen nachweist *).

Wenn sich die beschleunigten Athembewegungen gegen die normalen wie 3 : 1 verhielten, so ergaben sich folgende Werthe:

---

*) Für diejenigen, welche diese und die später aufgeführten Versuche wiederholen wollen, bemerke ich noch, dass man vor jedem Versuch einige (etwa 4—6) Athembewegungen machen muss, welche hinsichtlich ihrer Häufigkeit mit denen während des Versuchs vollkommen gleich sein müssen. Würde man dieses unterlassen, so würde der Kohlensäuregehalt der in den Lungen bei normalem Athmen noch rückständigen Luft eine nicht unbedeutende Störung in dem Untersuchungsresultate bedingen.

*Zweite Versuchsreihe.*

A. Normales Athmen.

| Nr. | Tag | Stunde | Ausathmungen in einer Minute. | Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft |
|---|---|---|---|---|
| 484 | 25 Merz | $4^h2'$ | 12 | 4,26 |
| 487 | 27 Merz | $3^h28'$ | 12 | 4,67 |
| 488 | „ | $4^h48'$ | 12 | 4,22 |
| 491 | 28 Merz | $4^h3'$ | 12 | 4,33 |
| 496 | 1 April | $5^h55'$ | 10 | 4,30 |
| 498 | 1 April | $4^h$ | 12 | 4,23 |
| | | | | Mittel 4,335 |

B. Schnelleres Athmen.

| Nr. | Stunde | Ausathmungen in einer Minute. | Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft. | Unterschied der Kohlensäurewerthe beider Columnen A und B. |
|---|---|---|---|---|
| 484 a. | $4^h8'$ | 36 | 3,14 | 1,16 |
| *) 484 b. | $4^h55'$ | | 3,05 | |
| 487 a. | $3^h51'$ | 36 | 3,59 | 1,08 |
| 488 a. | $4^h12'$ | 36 | 3,03 | 1,16 |
| 488 b. | $4^h30'$ | | 3,05 | |
| 488 c. | $5^h10'$ | | 3,10 | |
| 491 a. | $4^h25'$ | 36 | 3,44 | 0,89 |
| 496 a. | $6^h5'$ | 30 | 2,89 | 1,41 |
| 498 a. | $4^h6'$ | 36 | 3,18 | 1,05 |
| | | | Mittel: 3,210 | Mittel: 1,125 |

*) Diese Zahlen beziehen sich nicht auf Doppelanalysen einer und derselben Luft, sondern — worauf auch schon die Angabe der Zeit des Experimentes deutet — auf Untersuchungen von nach demselben Athmungsrhythmus und unter denselben Umständen ausgeathmeter Luft. Sie zeigen eine so grosse Uebereinstimmung, wie es bei derartigen Experimenten nur irgend möglich ist.

Eine die Norm um das *Vierfache* übertreffende Athemfrequenz zeigte folgende Resultate:

*Dritte Versuchsreihe.*

A. Normales Athmen.

| Nr. | Tag | Stunde | Ausathmungen in einer Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft |
|---|---|---|---|---|
| 489 | 27 Merz | $6^h17'$ | 12 | 4,06 |
| 492 | 28 „ | $5^h11'$ | 12 | 4,08 |
| 499 | 3 April | $4^h45'$ | 11 | 4,10 |
| 503 | 4 „ | $2^h55'$ | 12 | 4,26 |
| 504 | 4 „ | $3^h45'$ | 11 | 4,26 |
| 505 | 8 „ | $10^h$ | 11 | 4,94 |
| 507 | 8 „ | $1^h17'$ | 12 | 4,45 |
| 510 | 16 „ | $9^h30'$ | 11 | 4,15 |
| 513 | 28 „ | $9^h36'$ | 12 | 4,56 |
| | | | | Mittel: 4,318 |

B. Schnelleres Athmen.

| Nr. | Stunde | Ausathmungen in einer Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft | Unterschied der Kohlensäure der Columnen A und B. |
|---|---|---|---|---|
| 489 a. | $6^h40'$ | 48 | 2,59 | 1,47 |
| 492 a. | $6^h49'$ | 48 | 2,73 | 1,35 |
| 499 a. | $4^h53'$ | 44 | 2,92 | 1,18 |
| 503 a. | $3^h$ | 48 | 2,89 | 1,37 |
| 504 a. | $3^h50'$ | 44 | 2,70 | 1,56 |
| 505 a. | $10^h5'$ | 44 | 3,75 | 1,19 |
| 507 a. | $1^h21'$ | 48 | 3,10 | 1,35 |
| 510 a. | $9^h36'$ | 44 | 3,10 | 1,05 |
| 513 a. | $9^h41'$ | 48 | 3,44 | 1,12 |
| | | Mittel: | 3,024 | 1,292 |

Um den Einfluss der das Normale um das *Fünffache* übersteigenden Athemzüge kennen zu lernen, wurde zum Vergleich mit Beobach-

tung 489 der dritten Versuchsreihe, wobei sich 4,06 % Kohlensäure ergaben, eine Stunde später, um $7^h$ 5′ im Versuch 489 b. bei einer Athemfrequenz von 60 Exspirationen 2,48 % Kohlensäure gefunden.

Die *höchste* Athemfrequenz, bei welcher eine gehörige Ansammlung der exspirirten Luft möglich war und mit der ich mich demnach begnügen musste, beläuft sich auf 96 Athemzüge in der Minute. Sie verhält sich also zum ruhigen Athmen wie 8 : 1. Dabei ergab sich Folgendes:

*Vierte Versuchsreihe.*

A. Normales Athmen.

| Nr. | Tag | Stunde | Ausathmungen in einer Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft |
|---|---|---|---|---|
| 508 | 8. April | $2^h25'$ | 12 | 4,30 |
| 509 | „ | $3^h16'$ | 12 | 4,22 |
| 511 | 16. April | $10^h45'$ | 11 | 4,30 |
| 514 | 28. April | $10^h31'$ | 12 | 4,67 |
| 517 | „ | $2^h$ | 12 | 4,67 |
| 531 | 10. Mai | $3^h5'$ | 12 | 3,89 |
| | | | Mittel: | 4,341 |

B. Schnelleres Athmen.

| Nr. | Stunde | Ausathmungen in einer Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft | Differenz der Kohlensäurewerthe beider Columnen |
|---|---|---|---|---|
| 508 a | $2^h32'$ | 96 | 2,52 | 1,68 |
| 509 a | $3^h21'$ | 96 | 2,59 | 1,83 |
| 511 a | $10^h49'$ | 88 | 2,77 | 1,53 |
| 514 a | $10^h39'$ | 96 | 3,07 | 1,60 |
| 517 a | $2^h8'$ | 96 | 3,10 | 1,57 |
| 531 a | $3^h10'$ | 96 | 2,40 | 1,49 |
| | | Mittel: | 2,741 | 1,600 |

Während die obigen Versuche mit beschleunigter Geschwindigkeit des normalen Athmens mit vollkommenster Leichtigkeit ausgeführt werden konnten, da man ohne Anstrengung — wenigstens auf kurze Zeit — die Zahl der Ausathmungen bedeutend vermehren kann, so blieben dagegen Athembeschwerden niemals aus, wenn ich, nach der entgegengesetzten Richtung hin experimentirend, die normale Zahl der Exspirationen um die Hälfte verringerte, wobei die Tiefe derselben, das heisst das bei jeder Ausathmung ausgestossene Luftvolum den normalen Verhältnissen, so weit es möglich war, entsprach. Diese Hindernisse in der Respiration, so wie auch der Umstand, dass bei dem langsameren Athemrhythmus eine oder eine halbe Exspiration in einer Minute zu viel oder zu wenig von nicht unbedeutendem Einfluss auf die Kohlensäureproduktion ist, bedingen unter den einzelnen Versuchen der folgenden Tabelle etwas grössere Differenzen, als es bei den übrigen Versuchsreihen der Fall war; doch ist auch hier das Gesetz ganz evident. Diese Versuche lieferten folgende Zahlenwerthe:

*Fünfte Versuchsreihe.*

A. Normales Athmen.

| Nr. | Tag | Stunde | Exspirationen in einer Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen eingeathmeter Luft |
|---|---|---|---|---|
| 396 | 9. Nvmbr. | $5^h30'$ | 13 | 4,34 |
| 519 | 28. April | $4^h40'$ | 11 | 4,49 |
| 520 | 1. Mai | $3^h$ | 12 | 4,26 |
| 525 | 7. Mai | $10^h50'$ | 11 | 4,45 |
| 526 | „ | $4^h15'$ | 12 | 4,08 |
| 527 | „ | $5^h12'$ | 11 | 4,08 |
| 530 | 10. Mai | $2^h2'$ | 12 | 4,15 |
| 532 | 14. Mai | $5^h5'$ | 11 | 4,22 |
| | | | Mittel: | 4,259 |

B. Langsameres Athmen.

| Nr. | Stunde | Ausathmungen in einer Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft | Unterschied der Kohlensäurewerthe beider Columnen. |
|---|---|---|---|---|
| 396 a | $5^h34'$ | $6^1/_2$ | 5,77 | 1,43 |
| 519 a | $4^h45'$ | $5^1/_2$ | 5,51 | 1,02 |
| 520 a | $3^h5'$ | 6 | 5,43 | 1,17 |
| 525 a | $10^h54'$ | $5^1/_2$ | 6,02 | 1,57 |
| 526 a | $4^h20'$ | 6 | 5,35 | 1,27 |
| 527 a | $5^h18'$ | $5^1/_2$ | 5,58 | 1,50 |
| 530 a | $2^h9'$ | 6 | 5,39 | 1,24 |
| 532 a | $5^h10'$ | $5^1/_2$ | 5,55 | 1,33 |
| | | Mittel: | 5,575 | 1,316 |

Wir stellen nun die aus den verschiedenen Versuchsreihen sich ergebenden Mittelwerthe übersichtlich zusammen, wobei wir natürlich die, bei verschieden schnellem Athmen erhaltenen, mittleren Kohlensäuremengen für eine und dieselbe normale Kohlensäurequantität berechnen müssen, wodurch aber, da die beim normalen Athmen erhaltenen Mittelzahlen in den einzelnen Versuchsreihen nur höchst unbedeutend differiren, nur kleine Veränderungen der Zahlenwerthe entstehen. Die zweite Versuchsreihe (mit verdreifachter Athemfrequenz) muss bei dieser Zusammenstellung übergangen werden, wenn anders die in der Tabelle mitzutheilenden Zahlen nach einem gleichbleibenden Verhältnisse wachsen sollen.

Wir erhalten demnach für

I.

| Athemzüge in einer Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft |
|---|---|
| 6 | 5,528 |
| 12 | 4,262 |
| 24 | 3,355 |
| 48 | 2,984 |
| 96 | 2,662 |

Die Unterschiede dieser Kohlensäurewerthe von einander sind, wenn wir ganz kleine, höchstens $^1/_{10}$ % betragende Correktionen anbringen und, von dem letzten Glied anfangend, jedes Glied von dem zunächst voranstehenden abzählen, wobei wir uns auf Eine Decimalstelle beschränken, folgende:

0,2 — 0,4 — 0,8

Bei den Schwierigkeiten, die sich bei den Versuchen mit um die Hälfte verlangsamten Exspirationen darboten, darf es nicht auffallen, wenn die Differenz zwischen den zwei ersten Gliedern durch das Experiment nur annähernd genau gefunden werden konnte, indem es nicht möglich war, mit dem langsamen Respiriren so lange fortzufahren, dass die in den Lungen enthaltene Luft gehörig mit Kohlensäure erfüllt werden konnte. Wenn wir in der oben angegebenen Potenzenreihe fortfahren, so erhalten wir

1,6 und wir müssten demnach eine Correktion von 0,3 % anbringen, somit statt der gefundenen Differenz 1,3 diejenige von 1,6 setzen. Eine solche Correktion der durch die Versuche erhaltenen Resultate ist schon an sich nicht bedeutend und bei dem übereinstimmenden Gang der übrigen Glieder der Reihe durchaus gerechtfertigt.

Demnach entstehen, wenn wir von dem letzten Gliede 2,66 ausgehen, dasselbe in 2,7 verwandeln und nach den oben berichtigten Differenzen nach aufwärts die übrigen Glieder der Reihe bilden:

II.

| Exspirationen in einer Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft |
|---|---|
| 6 | 5,7 — 0 = 5,7 |
| 12 | 5,7 — 1,6 = 4,1 |
| 24 | 5,7 — 2,4 = 3,3 |
| 48 | 5,7 — 2,8 = 2,9 |
| 96 | 5,7 — 3,0 = 2,7 |

Beziehen wir nun diese Kohlensäurewerthe auf die *Dauer einer Athembewegung*, indem wir von derjenigen Zeit, welche zu der kürzesten In- und Exspiration erforderlich ist, ausgehen, so erhalten wir:

III.

| a | b | c | d | e |
|---|---|---|---|---|
| Ausathmungen in einer Minute | Dauer eines Athemzuges in Sekunden | Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft | Constanter Kohlensäurewerth | Proportionalgrösse |
| 192 | 0,3125 | 2,6 | 2,6 | 0 |
| 96 | 0,625 | 2,7 | 2,6 | 0,1 |
| 48 | 1,25 | 2,9 | 2,6 | 0,3 |
| 24 | 2,5 | 3,3 | 2,6 | 0,7 |
| 12 | 5 | 4,1 | 2,6 | 1,5 |
| 6 | 10 | 5,7 | 2,6 | 3,1 |

Wenn wir die, bei jeder Exspiration constante Kohlensäuremenge = a und die 0″,3125 betragende Dauer der kürzesten Athembewegung = T setzen, so wird demnach allgemein

IV) der Dauer $T \times 2^n$ der Kohlensäurewerth $a + \frac{2^n - 1}{10}$ entsprechen. Da irgend eine Dauer t einer Exspiration $= T \times 2^n$ ist, so wird $2^n = \frac{t}{T}$.

Substituiren wir diesen Werth in IV), so erhalten wir für jede Dauer t irgend einer Exspiration die Kohlensäure:

$$V) \quad a + \frac{t - T}{10\ T}.$$

*Es gibt demnach jede Exspiration, sei sie noch so kurz oder möglichst langsam, wenn anders die Quantität und der Gasgehalt des durch die Lungen strömenden Blutes sich gleich bleibt, ausser einem gewissen constanten Werthe eine weitere Grösse, welche der Dauer des Athemzuges genau proportional ist.* Mit anderen Worten: *die bei einer beliebigen Dauer einer Exspiration ausgeathmete Kohlensäure ist gleich derjenigen Kohlensäuremenge, welche bei der kürzesten Exspiration gebildet wird, plus einer weiteren Quantität, welche gleich ist der Differenz der Zeitdauer der gesuchten von der kürzesten Exspiration, dividirt durch die zehnmalige Dauer der kürzesten Exspiration.*

Nicht genug kann ich, um Missverständnissen zu begegnen, darauf aufmerksam machen, dass der in Formel V. enthaltene Werth von a nur unter den so eben angeführten Bedingungen ein constanter ist und in so ferne variirt, als er ein genauer Ausdruck der chemischen Blutbeschaffenheit ist; sodass also nicht — wie Manche glauben möchten — an eine und dieselbe Athemfrequenz genau dieselbe Kohlensäuremenge gebunden ist. Gleichheit der Dauer der Exspirationen bedingt noch keineswegs Gleichheit des durch jede Ausathmung exspirirten Luftvolumens, sowie des Kohlensäuregehaltes des durch die Lungen fliessenden Blutes und umgekehrt; es kann also die nämliche relative Kohlensäurequantität durch an Dauer verschiedene Exspirationen ausgeathmet werden. Das aufgefundene Gesetz bewahrheitet sich aber unter allen Umständen, mag die bei 12 Athemzügen (in einer Minute) gebildete Kohlen-

säure 4,1 % betragen, bis zu 6,0 % steigen, oder auf 3,3 % sinken, immer wird dann bei 24 Exspirationen (in einer Minute) die relative Kohlensäure um 0,8 abnehmen, also resp. 3,3 % — 5,2 % — 2,5 % werden.

Wir haben bisher bloss die relativen Kohlensäurewerthe betrachtet; die *absoluten*, das heisst die innerhalb einer bestimmten Zeit ausgeschiedenen Quantitäten dieses Gases lassen sich darnach leicht berechnen, wesshalb eine genauere Untersuchung der, hier in ähnlicher Weise sich wiederholenden, Gesetzmässigkeiten überflüssig wäre. Folgende Tabelle dient zur Erläuterung dieser Verhältnisse:

VI.

| Zahl der Ausathmungen in einer Minute | Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft | In einer Minute ausgeathmete Luft | In einer Minute ausgeathmete Kohlensäure | Durch *eine* Exspiration ausgeathmete Kohlensäure |
|---|---|---|---|---|
| | | in Kubikcentimetern, reducirt auf + 37° Cels. und 336 paris.''' Barometerstand | | |
| 6 | 5,7 | 3000 *) | 171 | 28,5 |
| 12 | 4,1 | 6000 | 246 | 20,5 |
| 24 | 3,3 | 12000 | 396 | 16,5 |
| 48 | 2,9 | 24000 | 696 | 14,5 |
| 96 | 2,7 | 48000 | 1296 | 13,5 |

Wenn wir die früher erhaltenen Zahlen zur Berechnung der in einer Minute ausgeschiedenen Kohlensäuremengen in der Art anwenden, dass die bei jeder der in VI. aufgeführten Exspirationen konstante Kohlensäuremenge von 5,7 — 3,2 = 2,5 % zur Bestimmung der durch *eine* Exspiration ausgeschiedenen Quantität verwendet wird, so ergibt sich, dass für jede Exspiration (von

*) Das Volumen einer Exspiration ist hier zu 500 Kubikcentimetern angenommen.

500 Kubikcentimetern), dieselbe mag noch so kurz oder lange dauern, eine *konstante* Grösse von 12,5 Kubikcentimeter Kohlensäure und ebenfalls wieder eine *Proportionalgrösse* auftritt, welche letztere für die Exspirationszahlen 6, 12 u. s. w., resp. iür die einer Athembewegung zukommende Dauer von 10, 5 — 5 — 2½ u. s. w Sekunden die Werthe von 16, 8, 4, 2 und 1 Kub. Cent. annimmt. In der folgenden Tabelle VII. stellt die Reihe c das Produkt der Glieder der Reihe a und der für jede einzelne Ausathmung konstanten Kohlensäuremenge von 12,5 Kubikcentimetern dar, sodass durch Zuzählen von 96 Kubikcentimetern zu den Gliedern von c die Reihe b, d. h. die in einer Minute überhaupt ausgeschiedene Kohlensäuremenge herauskommt.

VII.

| a. Ausathmungen in einer Minute | b. Kohlensäure in einer Minute, in Kub. Cent. | c. |
|---|---|---|
| 6 | 171 | 75 |
| 12 | 246 | 150 |
| 24 | 396 | 300 |
| 48 | 696 | 600 |
| 96 | 1296 | 1200 |

Wenn wir die Tabelle VI vervollständigen, indem wir die Kohlensäurewerthe der, allerdings — wenn auch nur für einige Minuten — noch möglichen, Respirationsfrequenz von 192 Athemzügen (in einer Minute) berechnen und selbst noch um ein Glied weiter gehen, das heisst diejenige Quantität Kohlensäure aufsuchen, welche 384 Athemzügen (in einer Minute) entsprächen, obgleich eine solche Schnelligkeit der Athembewegungen durchaus unmöglich ist, so erhalten wir folgende Zahlen:

| Zahl der Exspirationen in 1 Minute | Ausgeathmete Luft in einer Minute | Ausgeathmete Kohlensäure | Kohlensäure in 100 Luft | Durch eine Exspiration ausgeathmete Kohlensäure (Kub. C.) |
|---|---|---|---|---|
| | in Kubikcentimetern | | | |
| 192 | 96,000 | 2496 | 2,6 | 13,0 |
| 384 | 192,000 | 4896 | 2,55 | 12,7 |

Bei einer Dauer von 0,312 Sekunden würden also durch eine Exspiration 13 Kub. Centim. Kohlensäure ausgeathmet, während welcher Zeit, wenn man die Quantität der in einer Minute durch die Lungencapillaren strömenden Kohlensäure zu 4300 Kub. Cent. anschlägt *),

*) Nach *Valentin's* interessanten Experimenten an Thieren muss man die Blutmenge grösser anschlagen, als es gewöhnlich geschieht. Die Angaben dieses Physiologen verdienen um so mehr Vertrauen, als er bei sehr verschiedenen Thieren zu ziemlich genau übereinstimmenden Resultaten gelangt ist.

*Valentin* schätzt die Blutmenge des erwachsenen Menschen auf 15 Kilogramme und das bei jeder Herzcontraktion ausgetriebene Blut auf 156 Gramme. Demnach strömen in einer Minute bei einer (mittleren) Pulsfrequenz von 72 Schlägen 11233 Gram. = 10925 Kub. Centimeter, rund 11000 K. C. Blut durch die Lungen. Diese halten nach *Magnus*, wenn wir von Temperatur- und anderen Correktionen, welche hier sehr überflüssig angebracht wären, absehen, *wenigstens* 2200 K. C. kohlensaures Gas. *Magendie* fand in 100 Grammen Venenblut 0,078 Gramm, und in 100 Gr. Arterienblut 0,066 Gramm kohlensaures Gas. Legen wir *Valentin's* Angaben über die in einer Minute durch die Lungen strömende Blutmenge zu Grunde, so müssten alsdann 8,76 Gr. = 4350 K. C. kohlensaures Gas in einer Minute aus dem rechten Herzen in die Lungen fliessen. Da *Magnus* nur in einem seiner Versuche alle Kohlensäure aus dem Blut austreiben konnte, so werden wir wohl besser thun, uns an die *Magendie*'sche Zahl zu halten, der übrigens die vortrefflichen Experimente von *Magnus* nicht widersprechen, da derselbe ja nur Quantitäten Kohlensäure angibt, welche jedenfalls im Blute vorhanden sein müssen, ohne zu bestreiten, dass das letztere noch mehr Kohlensäure enthalten könne.

26 Kub. Cent. kohlensaures Gas durch die Haargefässe der Lungen fliessen. Demnach würde selbst bei grösstmöglichster Respirationsfrequenz nicht alle im Blute enthaltene Kohlensäure austreten und es müssten über 300 Athemzüge in einer Minute gemacht werden können, wenn alle im venösen Blute enthaltene Kohlensäure in den Lungen ausgeathmet werden sollte.

Beschäftigen wir uns nunmehr mit dem *Verhältnisse der ausgeathmeten und der in dem Blute verbleibenden Kohlensäure* bei verschiedener Schnelligkeit des Athmens. Ich habe dabei die eben betrachtete Reihe auch für ganz langsame Respirationsfrequenzen vervollständigt, ein Verfahren, das, weil dieselben in der Natur nicht mehr vorkommen können, nicht wohl missbilligt wird, da wir dadurch wenigstens annähernde Aufschlüsse über den in Untersuchung genommenen Gegenstand erlangen, indem unseren Voraussetzungen über den Kohlensäuregehalt des Blutes wenigstens ein ziemlicher Grad von Wahrscheinlichkeit zukommt. Jedoch muss ich bemerken, dass die für diese langsamsten Athemzüge angegebenen Kohlensäurewerthe aus dem Grunde nicht mehr ganz richtig sein können, weil die alsdann in den verschiedenen Parthieen der Lungen enthaltene Luft (wie wir später sehen werden) einen fast ganz übereinstimmenden Kohlensäuregehalt zeigt, was — um ebenfalls einem in der Folge sich ergebenden Resultate schon hier vorzugreifen — für die Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Blute sehr hemmend ist. Bei der folgenden Berechnung der bei 3 und bei 1½ Athemzügen (in 1 Minute) aus dem Blute ausgeschiedenen Kohlensäure ist auf dieses störende Moment keine Rücksicht genommen, so dass für die erwähnten Respirationsfrequenzen eine etwas zu starke Kohlensäurequantität angenommen ist.

Bei der vorhin gemachten Voraussetzung hinsichtlich der in einer Minute durch die Haargefässe der Lungen strömenden Kohlensäure werden von 100 Theilen derselben ausgeschieden :

| bei Athemzügen in 1 Minute | | |
|---|---|---|
| 1½ | — | 2,66 % |
| 3 | — | 3,09 % |
| 6 | — | 3,97 % |
| 12 | — | 5,72 % |
| 24 | — | 9,21 % |
| 48 | — | 16,18 % |
| 96 | — | 30,14 % |
| 192 | — | 58,04 % |
| (384 | — | 113,88 % — also mehr, als unserer Annahme zufolge die im Blute befindliche Quantität der Kohlensäure beträgt). |

---

## Zweites Kapitel.

*Experimente über den Einfluss der Grösse der Athembewegungen auf den Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft.*

Aehnliche Verhältnisse, wie bei der Dauer der Athemzüge, müssen uns auch bei dem anderen, in der Mechanik der Respirationsbewegungen wichtigen Faktor begegnen, nämlich bei der *Grösse der abwechselnden Ausdehnung und Zusammenziehung des Brustkorbes*, oder mit andern Worten bei der *Tiefe der Athemzüge*. Auch hier können wir, übereinstimmend mit den Erfahrungen des vorigen Kapitels, über den ungefähren Erfolg der Antwort schon von vorne herein nicht in Zweifel sein, indem die Zunahme des Volumens der ein- und ausgeathmeten Luft nichts anderes, als eine gleichzeitige Abnahme der relativen Kohlensäuremenge erwarten lässt, welche jedoch bei Berechnung der absoluten Quantitäten eben durch die vergrösserten Volumverhältnisse der Exspirationen wieder compensirt wird, sodass, unter sonst gleichen Verhältnissen, tiefere Athemzüge mehr Kohlensäure hervorbringen, als weniger tiefe Ex-

spirationen. Ich hätte kaum für nöthig erachtet, diesen Gegenstand auf experimentellem Wege zu untersuchen, wenn es mir nicht auch hier um so viel als möglich exakte Zahlenwerthe zu thun gewesen wäre. Die in Folgendem mitgetheilten Thatsachen sind jedoch nur durch approximative Zahlen ausgedrückt; die Versuche entbehren, wegen der vielen, nicht zu beseitigenden, Schwierigkeiten, welche sie dem Experimentirenden bieten, der Genauigkeit, wie diejenigen des ersten Kapitels. Wir sind nämlich viel eher im Stande, die Zahl der Athemzüge nach Willkühr genau ab- oder zunehmen zu lassen, als die Athembewegungen in der Art zu vollführen, dass sie hinsichtlich ihrer Grösse nach gewissen Verhältnissen genau ab- und zunehmen, wesshalb wir hier auf vollkommene Richtigkeit des Experimentes verzichten müssen, was wir um so eher thun können, als manche die Respiration betreffenden Fragen, viel leichter mittelst der eine grössere Ausdehnung zulassenden Experimente mit beschleunigten Athembewegungen, als auf dem gegenwärtig eingeschlagenen Wege gelöst werden können.

Bei den die normalen Volumverhältnisse um das *Doppelte* übertreffenden In- und Exspirationen hatte die ausgeathmete Luft folgenden Kohlensäuregehalt:

*Erste Versuchsreihe.*

A. Normales Athmen.

| Nr. | Tag | Stunde | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft | Volum einer Exspiration in Kubikcentimetern |
|---|---|---|---|---|
| 352 | 3 Sept. | $4^h17'$ | 4,20 | 538 |
| 355 | 4 Sept. | $6^h3'$ | 4,68 | 537 |
| 364 | 21 Oct. | $11^h16'$ | 5,32 | 581 |
| 365 | 22 Oct. | $11^h39'$ | 4,58 | 544 |
| 382 | 3 Nov. | $11^h8'$ | 4,78 | 670 |
| 384 | „ | $5^h19'$ | 4,50 | 618 |
| 386 | 4 Nov. | $10^h22'$ | 5,13 | 558 |
| 389 | 8 Nov. | $10^h$ | 4,67 | 622 |
| 404 | 3 Dec. | $2_h12'$ | 4,88 | 609 |
| 407 | 10 Dec. | $2^h15'$ | 4,08 | 572 |
| 408 | 11 Dec. | $11^h$ | 4,78 | 617 |
| | | Mittel: | 4,69 | 591 |

B. Doppelt so tiefe (im Mittel 1200 Kubikcentimeter betragende) Athemzüge.

| Nr. | Stunde | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft | Unterschied der Kohlensäuremengen beider Columnen |
|---|---|---|---|
| 352 a | $4^h31'$ | $\frac{3,60}{3,60}$ | 0,60 |
| 355 a | $6^h14'$ | 3,66 | 1,02 |
| 364 a | $11^h29'$ | 3,87 | 1,45 |
| 365 a | $11^h54'$ | 4,18 | 0,40 |
| 382 a | $11^h13'$ | 3,95 $\left\{\begin{matrix}3,90\\4,00\end{matrix}\right\}$ | 0,83 |
| 384 a | $5^h23'$ | 4,01 | 0,49 |
| 386 a | $10^h25'$ | 4,45 | 0,68 |
| 389 a | $10^h4'$ | 4,19 | 0,58 |
| 404 a | $2^h19'$ | 4,33 | 0,55 |
| 407 a | $2^h21'$ | 3,60 | 0,48 |
| 408 a | $11^h5'$ | 4,22 | 0,56 |
| | Mittel: | 4,00 | 0,69 |

Ein Versuch, wobei sich das Volum einer Exspiration zur Norm wie *3 : 1* verhielt, ergab folgende Zahlen, die jedoch, da die durch die zweimalige Analyse erhaltenen Resultate bedeutend von einander abweichen, nur sehr approximative Werthe darstellen.

| | | | Kohlensäure | Volum einer Exspiration |
|---|---|---|---|---|
| Nr. 411 | 13. Decembr. | $11^h22'$ | 4,59 % | 509 |
| Nr. 411 a | „ | $11^h26'$ | 3,70 % $\{3,50 \atop 3,90\}$ | 1500 |

Waren die In- und Exspirationen *Viermal* tiefer als im gewöhnlichen Zustande, so wurden folgende Werthe erhalten:

*Zweite Versuchsreihe.*

A. Normales Athmen.

| Nr. | Tag | Stunde | Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft | Volum einer Exspiration in Kubikcentimetern |
|---|---|---|---|---|
| 392 | 8 Nov. | $7^h40'$ | 3,91 | 517 |
| 393 | „ | $9^h21'$ | 4,00 | 517 |
| 567 | 1 Juli | $1^h30'$ | 5,21 | 540 |
| 568 | „ | $2^h32'$ | 4,90 | 608 |
| | | Mittel: | 4,50 | 545 |

B. Dreifach tiefere Athemzüge.

| Nr. | Stunde | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft | Unterschied der Kohlensäurewerthe beider Columnen |
|---|---|---|---|
| 392 a | $7^h46'$ | 2,89 | 1,02 |
| 393 a | $9^h25'$ | 3,21 | 0,79 |
| 567 a | $1^h40'$ | 3,81 | 1,40 |
| 568 a | $2^h40'$ | 3,63 | 1,20 |
| | Mittel: | 3,38 | 1,12 |

Die die Norm um das *8fache*, (richtiger $7^1/_2$) des Volumens übertreffenden Exspirationen zeigten Folgendes:

*Dritte Versuchsreihe.*

A. Normales Athmen.

| Nr. | Tag | Stunde | Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft | Volum einer Exspiration in Kub. Cent. |
|---|---|---|---|---|
| 561 | 28 Juni | $5^h2'$ | 4,79 | 571 |
| 562 | „ | $5^h52'$ | 4,67 | 606 |
| 565 | 1 Juli | $4^h40'$ | 4,71 | |
| 566 | 6 Juli | $11^h50'$ | 4,83 | 574 |
| | | Mittel: | 4,75 | 584 |

B. Achtmal tiefere Athemzüge.

| Nr. | Stunde | Kohlensäure | Differenz der Kohlensäurewerthe beider Columnen |
|---|---|---|---|
| 561 a | $5^h10'$ | 2,89 | 1,90 |
| 562 a | $6^h$ | 2,96 | 1,71 |
| 565 a | $4^h52'$ | 2,44 | 2,27 |
| 566 a | $12^h5'$ | 2,85 | 1,98 |
| | Mittel: | 2,78 | 1,97 |

In folgenden Versuchen machte ich dagegen die In- und Exspirationen nur *halb so gross*, als in der Norm, was jedoch selbst auf die Länge von nur einer Minute nicht vollkommen gelingen konnte, da Athemnoth eintrat, wesshalb auch die hierbei erhaltenen Resultate nur annähernd wahr sind:

*Vierte Versuchsreihe.*

A. Gewöhnliches Athmen.

| Nr. | Tag | Stunde | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft | Volum einer Ausathmung in Kub. Cent. |
|---|---|---|---|---|
| 387 | 4 Nov. | $11^h18'$ | 4,87 | 589 |
| 393 | 8 Nov. | $9^h21'$ | 4,00 | 517 |
| 409 | 11 Dec. | $2^h9'$ | 4,27 | 653 |
| 410 | 12 Dec. | $3^h10'$ | 4,68 | 555 |
| | | Mittel: | 4,45 | 563 |

B. Halbmal weniger tiefe Athemzüge.

| Nr. | Stunde | Kohlensäure | Differenz der Kohlensäure in beiden Columnen |
|---|---|---|---|
| 387 a | $11^h22'$ | 5,80 | 0,93 |
| 393 a | $9^h44'$ | 4,98 | 0,98 |
| 409 a | $2^h12'$ | 5,28 | 1,01 |
| 410 a | $3^h15'$ | 5,46 | 0,78 |
| | Mittel: | 5,38 | 0,93 |

Die übersichtliche Zusammenstellung der aus den verschiedenen Versuchsreihen erhaltenen Mittelwerthe ergibt, wenn wir sämmtliche Werthe auf eine und dieselbe normale Kohlensäuremenge, z. B. auf 4,50 %, beziehen wollen:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Normale | Athemzüge | | = | 4,50 % |
| Zweimal tiefere | „ | „ | = | 3,81 |
| Dreimal | „ | „ | = | 3,61 |
| Viermal | „ | „ | = | 3,38 |
| Achtmal | „ | „ | = | 2,53 |

und für, im Verhältniss zur Norm um die Hälfte kleinere Exspirationsvolumina 5,43 %.

Obige Zahlenreihe gibt wenigstens annähernde Resultate, aus denen wir auch hier im Allgemeinen eine merkwürdige Uebereinstimmung mit den in vorigem Kapitel aufgefundenen Thatsachen ersehen. Die Tiefe der Athemzüge ist demnach ebenfalls von bedeutendem Einfluss auf den Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft.

Bei den das normale Verhältniss um das Doppelte des Volums übertreffenden Exspirationen ist die Menge der Kohlensäure ungefähr eben so gross, wie bei der die Norm um das Zweifache überschreitenden Athemfrequenz. Wenn nämlich bei 12 Exspirationen in 6000 Kub. Cent. ausgeathmeter Luft 246 Kub. Cent. (also 4,1 %) Kohlensäure enthalten sind, so sind einerseits bei 24 in einer Minute gemachten Exspirationen in 12000 Kub. Cent. 396 Kub. Cent. (= 3,3 %) Kohlensäure enthalten, während andererseits 12 Exspirationen, deren Volum 12000 Kub. Cent. beträgt, den obigen Daten zufolge, 4,1 — 0,69 = 3,4 % oder 408 Kub. Cent. Kohlensäure enthalten. Wegen der besprochenen Mangelhaftigkeit obiger Versuche würde durch die Durchführung einer Vergleichung der übrigen Glieder mit den Versuchen über die Frequenz der Athemzüge wenig gewonnen; indessen ist es offenbar, dass dem Organismus sowohl in der Frequenz als in der Tiefe der Athemzüge eine reichliche Gelegenheit zur vermehrten Ausscheidung der Kohlensäure gegeben ist, was bei stärkerem Athembedürfniss sogleich und ohne Anstrengung geschehen kann.

Bei dem Maximum der Grösse der Athemzüge würde, obigen Daten zufolge, die in einer Minute durch zwölf, 48000 Kub. Cent. betragende Exspirationen ausgeschiedene Kohlensäure (wenn die normale Menge der Kohlensäure = 4,1 % ist) 4,10 — 1,97 = 2,13 %, also 1022 Kub. Cent. betragen, welche Quantität zu der normalen sich wie 4 : 1 verhält. Demnach wird durch möglichst tiefe Athemzüge nur halb so viel Kohlensäure ausgeathmet, als durch möglichst schnelle Exspirationen. —

Obigen Versuchen über den Kohlensäuregehalt möglichst starker Exspirationen schliessen sich am besten folgende an, bei welchen zwar die Ein- und Ausathmungen (die hinsichtlich ihrer Dauer den normalen vollkommen gleich waren) *möglichst tief* gemacht wurden, ohne dass jedoch, wie das in den oben mitgetheilten Versuchen der Fall war, schon vor dem Experimente derselbe Modus der Athembewegungen angenommen wurde. Desshalb enthielt die alsdann exspirirte Luftquantität ausser der in Folge der sehr vergrösserten Inspiration gebildeten Kohlensäure noch diejenige Quantität der letzteren, welche von den vorhergegangenen normalen Athemzügen in den Lungen rückständig ist. Das durch eine Ausathmung gebildete Volum beträgt in jedem einzelnen Versuch 3600 Kub. Cent., gerade das Doppelte einer möglichst starken Exspiration bei gewöhnlicher Füllung der Lunge; es verhält sich demnach das Volum der angestrengtesten Inspiration (wenn wir, was keinen Einwurf erleidet, das ausgeathmete Luftvolum dem eingeathmeten gleich setzen) zu dem normalen Inspirationsvolum wie 4 : 1; dagegen das Volum der, nach vorhergegangener stärksten Inspiration, möglichst vollständigen Exspiration zu derjenigen einer gewöhnlichen Exspiration in dem Verhältnisse von 6 : 1 steht. — Die Versuche ergeben folgendes Resultat:

A. Normales Athmen.

| Nr. | Tag | Stunde | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft | Volum einer Exspiration in Kub. Cent. |
|---|---|---|---|---|
| 536 | 16. Mai | $2^h46'$ | 4,87 | 582 |
| 561 | 28. Juni | $5^h2'$ | 4,79 | 571 |
| 562 | „ | $5^h52'$ | 4,67 | 606 |
| | | Mittel: | 4,78 | 586 |

B. Möglichst tiefe Exspirationen.

| Nr. | Stunde | Kohlensäure | Volum einer Exspiration in Kub. Cent. |
|---|---|---|---|
| 536 a | $2^h55'$ | 4,22 | |
| 561 a | $5^h30'$ | 3,96 | 3600 |
| 562 a | $6^h15'$ | 3,96 | |
| | | 4,05 | |

Wenn wir demnach die beim normalen Athmen in den Lungen befindliche Kohlensäuremenge *) von der in obigen Versuchen gefundenen abziehen, so bleibt als Rest die eben in Folge der plötzlich abnorm verstärkten Luftzufuhr ausgeschiedene Quantität. Im nächsten Kapitel (dessen Ergebnisse wir hier schon benutzen müssen) wird gezeigt, dass die fragliche, in unserem Falle abzuzie-

*) Da selbst durch die stärkste Exspiration bekanntlich nicht alle Luft aus den Lungen getrieben wird, so können wir uns über die Capacität der Lungen keine vollkommen genaue Kenntniss verschaffen. Vorläufig nehmen wir hier das durch eine möglichst angestrengte Exspiration gebildete Luftvolum für die ganze in den Lungen befindliche Luftmenge, welcher (an sich allerdings bedeutende) Fehler jedoch, da er sich überall gleich bleibt, das Resultat der Untersuchung keineswegs stört.

hende Kohlensäuremenge 4,78 + 0,55 = 5,33 % beträgt, was für den Rauminhalt von 1800 Kub. Cent., also für die durch eine möglichst starke Exspiration nach vorhergehender normaler Inspiration ausgeathmete Luftmenge, die wir, nach der in der Anmerkung motivirten Annahme, vorläufig der Capacität der Lungen bei gewöhnlicher Füllung gleich setzen wollen, 95,94 Kub. Cent. beträgt.

Die durch eine Exspiration ausgeathmete Luftquantität enthält, bei einem Kohlensäuregehalt von 4,05 % (im Mittel) und einem Rauminhalt von 3600 Kub. Cent. 145,80 Kub. Cent. Kohlensäure, so dass demnach (wenn man obige 95,94 Kub. Cent. abzieht) 49,86 Kub. Cent. auf Rechnung der ungewöhnlich verstärkten Inspiration kommen.

In den mit obigen Versuchen correspondirenden Beobachtungen des normalen Athmens wurden in einer Minute durch 10 Exspirationen 289 Kub. Centim. Kohlensäure ausgeathmet, so dass in dem 586 Kub. Cent. betragenden Volum einer Exspiration 28,9 Kub. Cent. Kohlensäure enthalten sind. Beträgt aber das Volum einer Inspiration soviel, dass zu der, nach der vorhergehenden normalen Exspiration in den Lungen übrig bleibenden, etwa 1200 Kub. Cent. betragenden Luft statt 586 Kub. Cent. weitere 1814 Kub. Cent. gefügt werden, so dass die nächstfolgende möglichst starke Exspiration 3600 Kub. Cent. hervorbringt, so bewirkt diese *momentane* Verstärkung der Inspiration, wie oben gefunden, nur eine Vermehrung von 49,86 Kub. Cent. Kohlensäure (= 2,75 %). Dieser Werth differirt von den zu Anfang des Kapitels mitgetheilten Versuchen mit möglichst tiefen Exspirationen (dritte Versuchsreihe, B.) nur so wenig, woraus, trotz der anscheinend wesentlichen Unterschiede dennoch auf Gleichheit der Bedingungen in beiderseitigen Experimenten geschlossen werden muss.

## Drittes Kapitel.

*Von der in den verschiedenen Parthieen der Lungen enthaltenen Kohlensäuremenge.*

Schon längst weiss man, dass die verschiedenen Portionen der ausgeathmeten Luft, oder mit anderen Worten, die in den verschiedenen Lokalitäten der Athmungsorgane enthaltene Luft einen sehr verschiedenen Kohlensäuregehalt zeigen, indem letzterer zunimmt, je weiter man in die Lungen hinabdringt *). Den grössten Reichthum an Kohlensäure bieten die feinsten Lungenzellen.

Der Gegenstand war mir, namentlich als Ergänzung der in den beiden ersten Kapiteln aufgefundenen Thatsachen, wichtig genug, um durch eine Reihe von Experimenten untersucht zu werden, bei denen sich aber dieselben, ja noch grössere Schwierigkeiten als bei den früheren wiederholten, so dass ich höchstens annähernd genaue Resultate erlangen konnte. Indem ich die Exspirationen in zwei, wo möglich gleiche Hälften theilte, ergaben sich die in folgender Tabelle mitgetheilten Resultate:

---

*) *Allen* und *Pepys* fanden in den ersten Portionen 3,5 bis 5,0 %, in den letzten dagegen 9,5 % Kohlensäure. Diese Differenz ist enorm und wird durch meine Versuche widerlegt. — *Jurine* fand kein bei starker Ausathmung in der 1sten Portion 1,01 Kub. Zoll

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2ten | „ | 1,05 | „ | „ |
| 3ten | „ | 1,16 | „ | „ |
| 4ten | „ | 1,51 | „ | „ |

*Arago* citirte in der Sitzung der französischen Academie vom 11. November 1844 ein Experiment, welches *Wollaston* angestellt hat zum Beweise, dass die letzten Portionen der ausgeathmeten Luft reicher an Kohlensäure sind, als die ersten. Wenn man nämlich langsam gegen ein Kerzenlicht haucht, so erlischt dasselbe erst gegen das Ende der Exspiration. Mir ist der Versuch nicht gelungen, selbst wenn ich den Athem anhielt, um auf diese Weise eine möglichst Kohlensäurehaltige Luft zu erhalten. Wahrscheinlich kommt es darauf an, das aus dem Mund tretende Gas durch irgend eine Vorrichtung beisammen zu halten, und dessen zu schnelle Verbreitung zu verhindern.

*Erste Versuchsreihe.*

A. Vollständige Exspiration.

| Nr. | Tag | Stunde | Zahl der Exspirationen in einer Minute | Volum einer Exspiration in Kubikcentimetern | Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft. |
|---|---|---|---|---|---|
| 379 | 30 Oct. | $11^h30'$ | 12 | | 4,24 |
| 381 | „ | $5^h17'$ | 12 | | 3,75 |
| 392 | 8 Nvb. | $7^h40'$ | 13 | 517 | 3,91 |
| 401 | 1 Dec. | $3^h55'$ | 14 | 681 | 5,32 |
| 402 | 2 Dec. | $10^h15'$ | 13 | | 4,79 |
| 537 | 2 Juni | $11^h40'$ | 10 | 543 | 4,67 |
| 564 | 1 Juli | $3^h25'$ | 11 | 565 | 4,67 |
| | | | | Mittel: | 4,48 |

B. Erste Hälfte der Exspiration

| Nr. | Stunde | Kohlensäure in 100 Luft | Differenz der Kohlensäure von derjenigen der vollständigen Exspiration. |
|---|---|---|---|
| 379 a | $10^h45'$ | 3,35 | — 0,89 |
| 381 a | $4^h20'$ | 1,76 ? | — 1,99 (?) |
| 392 a | $6^h40'$ | 2,66 | — 1,25 |
| 401 a | $4^h2'$ | 4,31 | — 1,01 |
| 402 a | $10^h25'$ | 3,84 | — 0,95 |
| 537 a | 12 | 4,00 | — 0,67 |
| 564 a | $3^h35'$ | 4,15 | — 0,52 |
| | Mittel: | 3,72 | — 0,76 |

C. Zweite Hälfte der Exspiration.

| Nr. | Stunde | Kohlensäure in 100 Luft | Differenz der Kohlensäure von derjenigen der vollständigen Exspiration. |
|---|---|---|---|
| 379 b | $10^h50'$ | 5,25 | + 1,01 |
| 381 b | $4^h26'$ | 4,87 | + 1,12 |
| 392 b | $6^h48'$ | 4,87 | + 0,96 |
| 401 b | $4^h11'$ | 6,40 | + 1,08 |
| 402 b | $10^h20'$ | 6,10 | + 1,31 |
| 537 b | $12^h15'$ | 5,39 | + 0,72 |
| 564 b | $3^h45'$ | 5,21 | + 0,54 |
| | Mittel: | 5,44 | + 0,96 |

Diese Versuche erfordern ebenfalls viele Uebung, indem es sehr schwer ist, die Exspirationsbewegungen in der Art abzuschätzen, dass, je nach Bedarf, die erste oder zweite Hälfte des durch dieselben ausgeathmeten Luftvolums in den Exspirator übergeführt wird, eine Bedingung, die ich nur sehr unvollständig erfüllen konnte. Wahrscheinlich ist in obigen Experimenten die erste Hälfte des exspirirten Luftvolums etwas zu klein, während zu der letzten Hälfte ohne Zweifel noch eine Quantität Luft aus einer tieferen Schichte hinzugekommen ist, woraus für den ersten Antheil ein zu geringer, für den zweiten ein zu bedeutender Kohlensäuregehalt erfolgen musste. Es versteht sich, dass bei den Versuchen immer die eine Hälfte einer Exspiration verloren gehen musste, während die andere in den Exspirator übergeführt wurde; denn nach Ausathmung der ersten Hälfte würde das Schliessen des einen und das Oeffnen des andern Exspirators, damit letzterer den die zweite Hälfte der Ausathmung darstellenden Antheil Luft aufnehme, jedenfalls zu viel Zeit wegnehmen, wodurch ein nicht unbedeutend vermehrter Kohlensäuregehalt der zweiten Hälfte bedingt wäre. Desshalb musste ein jeder dieser Versuche für sich abgesondert gemacht werden.

Es ist demnach bei normaler Athemfrequenz die erste Hälfte der exspirirten Luft ärmer an Kohlensäure als die zweite. Da jedoch obige Zahlen nicht ganz genau sind, so kann ich nicht bestimmt entscheiden, nach welchem Verhältnisse die Kohlensäure in den *tieferen Schichten* der Athemorgane zunimmt und es ist mir sehr wahrscheinlich, dass die in Columne B. und C. aus den Mittelwerthen erhaltenen Differenzen zu gross sind, indem sie sich auf etwa 0,5 % belaufen dürften.

In der *Vergleichung des Kohlensäuregehaltes einer normalen Exspiration mit der durch die möglichst angestrengteste Ausathmung erhaltenen Quantität von Kohlensäure* ist ein zweites sicheres Hülfsmittel gegeben, um die uns eben beschäftigende Frage theilweise zu beantworten. Da man, selbst unter den verschiedensten Umständen, durch eine möglichst starke Ausathmung nach vorhergehender *normaler Inspiration* verhältnissmässig nur geringe Volumdifferenzen erhält, so sind wir begreif-

licherweise auf diesem zweiten Wege viel weniger den in der Ansammlung der exspirirten Gase bedingten Irrthümern ausgesetzt, als es bei der vorhin mitgetheilten ersten Versuchsreihe der Fall war. Wenn wir desshalb den Kohlensäuregehalt einer normalen Exspiration von der Kohlensäuremenge abziehen, welche sich in der durch möglichst starke Ausathmungen erhaltenen Luft befindet, so haben wir als Rest die in den tieferen Luftschichten enthaltenen Kohlensäure.

*Zweite Versuchsreihe.*

A. Normale Exspiration.

| Nr. | Tag | Stunde | Volum einer Exspiration in Kubikcentimetern | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. |
|---|---|---|---|---|
| 522 | 1 Mai | $5^h3'$ | 622 | 3,89 |
| 533 | 15 Mai | $11^h52'$ | 582 | 5,02 |
| 534 | „ | $2^h2'$ | 581 | 5,02 |
| 535 | 16 Mai | $12^h15'$ | 553 | 4,71 |
| 544 | 5 Juni | $9^h15'$ | 586 | 4,83 |
| 546 | „ | $11^h$ | 550 | 4,52 |
| 547 | „ | $12^h35'$ | 618 | 4,64 |
| 551 | 10 Juni | $3^h12'$ | 502 | 4,43 |
| | | Mittel: | 574 | 4,63 |

B. Möglichst starke (1800 Kub. Cent.) betragende Exspiration, nach vorhergehender normaler Inspiration.

| Nr. | Stunde | Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft | Differenz der Kohlensäure beider Columnen. |
|---|---|---|---|
| 522 a | $5^h8'$ | 4,64 | 0,75 |
| 533 a | $11^h57'$ | 5,55 | 0,53 |
| 534 a | $2^h7'$ | 5,69 | 0,67 |
| 535 a | $11^h50'$ | 5,35 | 0,64 |
| 544 a | $9^h32'$ | 5,10 | 0,27 |
| 546 a | $11^h12'$ | 5,02 | 0,50 |
| 547 a | $12^h6'$ | 5,06 | 0,42 |
| 551 a | $3^h25'$ | 5,06 | 0,63 |
| | Mittel: | 5,18 | 0,55 |

Es enthält demnach, obiger Tabelle zufolge, wenn der Kohlensäuregehalt einer normalen Exspiration sich auf 4,63 % beläuft, im Mittel aus 8 Experimenten eine möglichst tiefe Exspiration von 1800 Kubikcentimetern 5,18 % Kohlensäure. Die in beiden Exspirationsvolumen enthaltenen Quantitäten betragen demnach 26,57 und 93,24 Kubikcentimeter; folglich sind in den 1226 Kub. Cent. betragenden tieferen Schichten der starken Exspiration 66,67 Kub. Cent. Kohlensäure (= 5,43 %), also 0,80 % mehr, als in dem normalen Exspirationsvolum enthalten.

Selbst bei möglichst starken Exspirationen werden die Lungen nicht vollständig entleert, so dass immer noch eine nicht unbeträchtliche Quantität Luft zurückbleibt, deren Volum wir — übereinstimmend mit den Angaben anderer Schriftsteller, auf etwa 1/3 der durch die angestrengteste Exspiration (nach vorhergegangener normaler Inspiration) ausgeathmeten Luft anschlagen. Dieselbe muss, da der Kohlensäuregehalt der Luft in den tieferen Parthieen der Athemorgane zunimmt, auch mehr Kohlensäure enthalten, als die oberen Schichten. Wir dürfen die Kohlensäure in den Lungenzellen um 1,2 % stärker annehmen, als in der durch Exspirationen von normaler Tiefe ausgeathmeten Luft, wenn anders der Kohlensäuregehalt in den tiefsten Schichten der Athemorgane nach demselben Verhältnisse zunimmt, wie dieses in den oberen Schichten der Fall ist; eine Voraussetzung, die, obgleich sie nicht durch direkte Beobachtungen geprüft werden kann, mit den Thatsachen, zu denen man hinsichtlich der Verbreitung der Gase in einander gelangt ist, in Einklang steht, und zu deren Annahme uns endlich die im 3ten, 4ten und 5ten Kapitel des 7ten Abschnittes mitgetheilten Betrachtungen nöthigen

Die Thatsache, dass die unteren Luftschichten reicher an Kohlensäure sind, als die oberen, übertrug man unbegreiflicher Weise auf die gewöhnlichen Verhältnisse des Athmens und vindicirte demnach für tiefere Athemzüge eine stärkere relative Kohlensäurequantität. Da nun beim normalen Athmen die in- und exspirirte Luft an Rauminhalt gleich ist, oder doch nur so unbedeutende Differenzen zeigt, dass wir ohne irgend erheblichen Fehler obige Annahme machen können, so muss auch der grösseren Exspiration

eine entsprechende tiefere Inspiration vorangegangen sein, wodurch zwar, wie schon (Kapitel 2) bemerkt wurde, die absolute Kohlensäuremenge vergrössert, das Verhältniss derselben jedoch zu der überhaupt ausgeathmeten Luft verringert werden musste.

## Viertes Kapitel.

*Experimente über die Ausscheidung der Kohlensäure bei gehemmtem Athmen.*

Dieser Gegenstand schien mir vor vielen anderen der genauesten Untersuchung werth zu sein. Die bei diesen Versuchen erhaltenen Resultate bieten mehr als blosse Curiositäten dar; sie geben uns Mittel an die Hand, die Vorgänge beim Erstickungstode in mancher Hinsicht näher kennen zu lernen; vorzugsweise verschaffen sie aber werthvolle, durch keine anderen Experimente zu ersetzende Aufschlüsse über den gegenseitigen Gasaustausch zwischen dem Blut und den Lungenzellen.

In der ersten Reihe der hierher gehörenden Experimente wurde die *nach einer normalen Inspiration durch eine möglichst starke Exspiration ausgeathmete Luft, nachdem vorher Mund und Nase verschieden lange Zeit geschlossen waren* (20—60 Sekunden, wie aus den einzelnen Versuchen ersichtlich ist), auf ihren Kohlensäuregehalt untersucht und mit der unter normalen Bedingungen ausgeathmeten Kohlensäure verglichen. Die einzelnen Versuche, deren ich 31 angestellt habe, ergaben folgende Resultate:

*Erste Versuchsreihe.*

| | | Normales Athmen | | | Hemmung der Respiration | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 20 Sekunden | | 25 Sekunden | | 30 Sekunden | | 40 Sekunden | | 50 Sekunden | | 1 Minute | |
| Nr. | Tag | Stunde | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft. | Kohlensäure in einer Minute ausgeathmet, in Kubikcentimetern | Stunde | Kohlensäure in % | Stunde | Kohlensäure in % | Stunde | Kohlensäure in % | Stunde | Kohlensäure in % | Stunde | Kohlensäure in % | Stunde | Kohlensäure in % |
| 443 | 29 Dec. | $10^h25'$ | 4,52 | 273 | $10^h29'$ | 6,30 | | | | | | | | | | |
| 444 | „ | $11^h4'$ | 4,36 | | $11^h8'$ | 6,12 | | | | | | | | | | |
| 555 | 16 Jun. | $2^h38'$ | 4,98 | 280 | | | | | $2^h46'$ | 6,96 | | | | | | |
| 556 | 25 Jun. | $10^h$ | 5,28 | 276 | $10^h10'$ | 7,07 | | | $10^h20'$ | 7,44 | | | | | | |
| 557 | „ | $11^h13'$ | 4,67 | 258 | | | | | | | $10^h44'$ | 7,44 | | | | |
| 558 | „ | $2^h2'$ | 5,06 | 326 | | | | | $2_h11'$ | 7,18 | $2^h20'$ | 7,31 | $2^h40'$ | 7,48 | | |
| 559 | 27 Jun. | $3^h45'$ | 5,02 | 295 | | | | | | | $3^h54'$ | 7,21 | $4^h15'$ | 7,25 | $4^h30'$ | 7,44 |
| 560 | „ | $5^h7'$ | 4,94 | 279 | $5^h24'$ | 6,51 | $5_h15'$ | 6,71 | | | | | | | | |
| 563 | 29 Jun. | $3^h40'$ | 4,49 | 282 | | | $3^h49'$ | 6,47 | $3^h58'$ | 6,58 | | | | | | |
| 570 | 6 Juli | $9_h41'$ | 5,24 | 311 | | | | | | | $9^h52'$ | 7,34 | | | | |
| 571 | 8 Juli | $7^h15'$ | 4,52 | 241 | | | | | | | $7^h25'$ | 6,82 | | | | |
| 577 | 10 Juli | $7_h50'$ | 4,64 | 237 | | | | | | | | | $8^h5'$ | 6,96 | | |

Ich brauche kaum zu bemerken, dass bei diesen Experimenten, namentlich wenn die Dauer der Respirationshemmung gegen $^3/_4$ Minuten betrug, mehr oder weniger starke Dyspnoe entstand, welche bei noch längerem Zurückhalten des Athmens in die peinlichsten und schmerzhaftesten Empfindungen überging. Länger als *eine* Minute konnte ich *unter diesen Verhältnissen* das Athmen niemals zurückhalten.

Diese Experimente liefern somit folgende Mittelwerthe:

I.

| Dauer der Hemmung des Athmens | Kohlensäure beim entsprechenden normalen Athmen in % | Kohlensäure in % durch das Athemhalten gebildet | Differenz beider Kohlensäurewerthe | Zahl der Experimente. |
|---|---|---|---|---|
| 20 Sekund. | 4,77 | 6,50 | 1,73 | 4 |
| 25 „ | 4,71 | 6,59 | 1,88 | 2 |
| 30 „ | 4,95 | 7,04 | 2,09 | 4 |
| 40 „ | 4,90 | 7,22 | 2,32 | 5 |
| 50 „ | 4,91 | 7,23 | 2,32 | 3 |
| 60 „ | 5,02 | 7,44 | 2,42 | 1 |

Wenn wir nun die in den verschiedenen Versuchen erhaltenen Zahlen der besseren Uebersicht wegen auf *eine und dieselbe normale* Kohlensäuremenge beziehen und als letztere keine der in obigen Beobachtungen gefundenen, zufällig ziemlich hohen Werthe, sondern die so ziemlich den mittleren Werth darstellende Grösse 4,30 % annehmen, so erhalten wir nachstehende Zahlen für die verschiedene Dauer der Respirationshemmung. Zugleich sind die absoluten Quantitäten der Kohlensäure angegeben, welche sich aus dem, jedesmal ungefähr 1800 Kub. Cent. betragenden Volum einer möglichst starken Exspiration berechnen lassen.

II.

| Dauer der Hemmung des Athmens | Kohlensäure in 100 Luft | Kohlensäure in Kubik C. |
|---|---|---|
| 20″ | 6,03 | 108,5 |
| 25″ | 6,18 | 111,2 |
| 30″ | 6,39 | 115,0 |
| 40″ | 6,62 | 119,0 |
| 50″ | 6,62 | 119,0 |
| 60″ | 6,72 | 120,9 |

Bei der Vergleichung der unter diesen abnormen Bedingungen ausgeschiedenen Kohlensäure mit derjenigen, die unter gewöhnlichen Verhältnissen ausgeathmet wird, muss man aber bedenken, dass beim Beginnen des Versuches noch eine gewisse Quantität Kohlensäure in den Lungen zurückgeblieben ist und dass ferner die Respiration während der 5 ersten Sekunden des Versuches durchaus noch innerhalb der normalen Bedingungen sich befindet, indem ja bei gewöhnlichem Athmen erst wieder nach 5 Sekunden eine neue Exspiration erfolgt wäre. Desshalb ist die Zeitlänge der Athemhemmung bei jedem einzelnen Versuche um 5 Sekunden zu reduciren, sowie auch von der erhaltenen Kohlensäure die vor dem Versuche gebildete, in den Lungen noch rückständige, sowie auch die während der ersten 5 Sekunden des Versuches — also noch unter normalen Bedingungen — ausgeschiedenen Kohlensäurequantitäten abgezogen werden müssen. In Kapitel 3 ist die in Abrechnung zu bringende Grösse angegeben, welche nämlich nichts anderes ist, als die durch eine möglichst starke Exspiration, nach vorhergegangener normaler Inspiration, ausgestossene Kohlensäure. Für unseren Fall beläuft sich letztere demnach auf $4{,}30 + 0{,}55 = 4{,}85$ %, was für 1800 Kub. Cent ausgeathmeter Luft 87,30 Kub. Cent. Kohlensäure beträgt Ziehen wir demnach diese Quantität von den verschiedenen, in II) aufgefundenen ab, so erhalten wir bei einer Respirationshemmung von

III.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 15 | Sekunden | 21,2 | Kub. Cent. Kohlensäure |
| 20 | „ | 23,9 | |
| 25 | „ | 27,7 | |
| 35 | „ | 31,7 | |
| 45 | „ | 31,7 | |
| 55 | „ | 33,6 | |

Die folgende Tabelle gibt über das Verhältniss der Kohlensäure, die bei normalem Athmen ausgeschieden wird, zu derjenigen, welche bei gehemmter Respiration in die Lungen austritt, Aufschluss. Columne a bedeutet die durch gewöhnliches Athmen in den bemerkten Zeiten ausgeschiedene Kohlensäure, wenn die Dauer eines Athemzuges zu 5 Sekunden, obiger Annahme zufolge der Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft zu 4,30 % und der Rauminhalt einer Exspiration zu 500 Kub. Cent. angenommen wird. Columne b gibt an, um wie viel weniger bei gehemmter Respiration Kohlensäure ausgeschieden wird, als bei gewöhnlichem Athmen. In Columne c wird die bei den verschiedenen Versuchen mit gehemmtem Athmen ausgeschiedene Kohlensäure auf 100 Theile Kohlensäure, die unter normalen Verhältnissen zu derselben Zeit ausgeathmet werden, bezogen.

IV.

Kohlensäure in Kub. Cent.

| Sekunden | a | b | c |
|---|---|---|---|
| 15 | 64,5 | 43,3 | 32,8 % |
| 20 | 86,0 | 62,1 | 27,8 % |
| 25 | 107,6 | 79,9 | 25,7 % |
| 35 | 150,5 | 118,8 | 21,0 % |
| 45 | 193,5 | 161,8 | 16,4 % |
| 55 | 236,5 | 202,9 | 14,2 % |

Schlägt man die in 1 Minute durch die Lungencapillaren strömende Kohlensäure zu 4300 Kub. Cent. an, so werden von 100 Theilen derselben exhalirt:

V.

bei einer Athemhemmung von 15″ = 1,9 %
25″ = 1,3 %
35″ = 1,1 %
45″ = 0,9 %
55″ = 0,9 %

Die eben mitgetheilten Experimente erhalten eine ergänzende Bestätigung durch folgende Versuche, wobei *auf eine möglichst tiefe Inspiration, nachdem das Athmen wie in der vorigen Versuchsreihe verschieden lange Zeit war angehalten worden, eine möglichst starke Exspiration folgte.* Es versteht sich von selbst, dass alsdann Athembeschwerden erst später sich einstellten, wesshalb auch diese Versuche eine längere Dauer haben konnten, weil dem durch die Lungen strömenden venösen Blute durch die vergrösserte Inspiration eine grössere Quantität Luft geboten wurde. Bei diesen, auf 40 sich belaufenden, Versuchen erhielt ich nachstehende Ergebnisse:

*Zweite Versuchsreihe.*

| Normales Athmen | | | | Dauer der Hemmung der Respiration | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 20 Sekunden | | 40 Sekunden | | 60 Sekunden | | 80 Sekunden | | 90 Sekunden | | 100 Sekunden | | | |
| Nr. | Tag | Stunde | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft | Stunde | Kohlens. in % | Stunde | Kohlens. in % | Stunde | Kohlens. in % | Stunde | Kohlens. in % | Stunde | Kohlens. in % | Stunde | Kohlens. in % | Stunde | Kohlens. in % |
| 415 | 17 Dec. | 12h | 4,08 | 11h | 4,91 | 11h | 5,52 | 11h30′ | 5,50 | | | | | | | | |
| 416 | 18 Dec. | 11h15′ | 3,78 | 10h30′ | 4,97 | 10h35′ | 5,56 | 10h45′ | 5,69 | 11h | 6,21 | | | | | | |
| 421 | 20 Dec. | 10h50′ | 4,28 | 9h52′ | 5,06 | 9h58′ | 5,61 | 10h14′ | 6,11 | 10h30′ | 6,70 | | | | | | |
| 422 | „ | 12h | 4,34 | 12h3′ | 4,82 | | | | | | | | | | | | |
| 423 | „ | 1h50′ | 4,28 | 1h54′ | 5,36 | | | | | | | | | | | | |
| 425 | 21 Dec. | 10h | 3,19 | 10h5′ | 3,83 | 10h18′ | 4,41 | 10h35′ | 5,73 | 10h50′ | 5,36 | | | | | | |
| 427 | „ | 1h39′ | 3,98 | 1h45′ | 4,96 | | | | | | | | | | | | |
| 428 | 22 Dec. | 4h12′ | 3,68 | 4h24′ | 4,19 | 4h28′ | 4,94 | | | | | | | | | | |
| 429 | „ | 5h | 3,74 | | | | | 5h45′ | 6,13 | 5h40′<br>5h15′ | 6,03<br>6,06 | 6h19′ | 6,50 | | | | |
| 439 | 28 Dec. | 10h50′ | 4,53 | 11h30′ | 5,16 | | | 11h40′ | 6,62 | | | | | | | | |
| 569 | 10 Juli | 11h54′ | 4,56 | | | | | 12h8′ | 6,62 | 12h30′ | 7,21 | | | | | | |
| 575 | „ | 1h20′ | 4,98 | | | | | | | 1h32′ | 7,10 | | | 1h45′ | 8 06 | | |
| A. Mittel: | | | | | 4,80 | | 5,21 | | 6,06 | | 6,44 | | 6,50 | | 8,06 | | |
| B. Mittel der entsprechenden normalen Beobachtungen | | | | | 4,01 | | 3,80 | | 4,02 | | 4,09 | | 3,74 | | 4,98 | | |
| Differenz der Kohlensäurewerthe von A und B. | | | | | 0,79 | | 1,41 | | 2,04 | | 2,35 | | 2,76 | | 3,08 | | |

Im Allgemeinen bieten die einzelnen Versuche ein übereinstimmendes Resultat; mit zunehmender Dauer der Respirationshemmung nimmt auch die Kohlensäurequantität zu; bloss Exper. 425 — $10^h35'$ und $10_h50'$ sowie Exp. 429 — $5^h45'$, $5^h40'$ und $5^h15'$ machen eine Ausnahme, indem bei längerem Athemhalten weniger Kohlensäure gefunden wurde, was mich anfangs, statt einen bei diesen schwierigen Versuchen leicht möglichen Beobachtungsfehler anzunehmen, verleitete, an die Möglichkeit einer stattgefundenen Absorption der Kohlensäure durch das Blut zu denken, eine Ansicht, die jedoch durch viele andere Experimente dieser und der früheren Reihe, abgesehen von sonstigen, später zu besprechenden Gründen, unstatthaft ist. Die Mittelwerthe aus jeder einzelnen Columne geben ein Resultat, welches die hier waltende Gesetzmässigkeit ausser allen Zweifel setzt.

Beziehen wir auch hier wieder die bei den einzelnen Versuchen erhaltenen Resultate auf eine und dieselbe normale Kohlensäuremenge (und zwar, wie in der vorigen Versuchsreihe, auf 4,30 %), und berechnen wir zugleich die während des Experimentes gebildete absolute Kohlensäurequantität, indem nämlich das Volum einer derartigen Exspiration 3600 Kub. Cent. beträgt, so erhalten wir folgende Zahlen:

VI.

| Dauer der Respirationshemmung | Kohlensäure in 100 ausgeathmeter Luft | Kohlensäure in Kubikcentimetern |
|---|---|---|
| 20″ | 5,09 | 183,2 |
| 40″ | 5,71 | 205,5 |
| 60″ | 6,34 | 228,2 |
| 80″ | 6,67 | 240,1 |
| 100″ | 7,38 | 265,6 |

Auch hier müssen wir — wie bei der ersten Versuchsreihe dieses Kapitels — die schon besprochene Quantität von 87,30 Kub. Cent. Kohlensäure abziehen und die Dauer der *Hemmung* der Luftzufuhr um 5 Sekunden verringern. Demnach gibt eine Respirationshemmung von:

VII.

| Sekunden | a Kohlensäure in Kub. Cent. | b Kohlensäure die bei gewöhnlichem Athmen exspirirt wird, in Kub. Cent. | c Unterschied der Columnen a und b | d Von 100 Theilen der im Blute enthaltenen Kohlensäure werden ausgeschieden |
|---|---|---|---|---|
| 15 | 95,9 | 64,5 | + 31,4 | 8,9 % |
| 35 | 118,2 | 150,5 | — 32,3 | 4,7 % |
| 55 | 130,9 | 236,5 | — 105,6 | 3,3 % |
| 75 | 152,8 | 322,5 | — 169,7 | 2,8 % |
| 95 | 177,8 | 408,5 | — 230,7 | 2,6 % |

Es ist also unter diesen Umständen bei einer 15 Sekunden andauernden Hemmung der Luftzufuhr die Abscheidung der Kohlensäure aus dem Blute durchaus nicht gestört, obgleich während dieser Zeit beim normalen Athmen drei In- und Exspirationen (von freilich viel geringerer Tiefe) gemacht worden wären; es tritt selbst in unserem Falle wegen des abnorm vermehrten Luftvolums der Lungen mehr Kohlensäure aus, als unter gewöhnlichen Verhältnissen. Dass unter solchen Umständen auch nicht die leiseste Spur von Dyspnoe entsteht, versteht sich von selbst; wird aber das Experiment bis auf 95 Sekunden verlängert, so tritt ebenfalls, wie das bei der vorigen Reihe schon viel früher der Fall war, ein hoher Grad von Athemnoth ein.

Worin liegt nun, um eine uns später beschäftigende Frage schon hier kurz zu berühren, die Ursache der peinlichen Athemnoth, die den Experimentirenden bei diesen Versuchen belästigt? Es scheint hierbei nicht sowohl auf die Quantitäten der Kohlensäure anzukommen, welche in dem Blute zurückbleiben mussten und die sich bei der 55 Sekunden dauernden Respirationshemmung der ersten Versuchsreihe auf 202 Kub. Cent., in der zweiten Reihe dagegen (bei 95 Sekunden) auf 230 Kub. Cent.

belaufen; noch viel weniger ist das Verhältniss der bei diesen Experimenten gebildeten Kohlensäure zu derjenigen, welche in derselben Zeit unter normalen Verhältnissen hätte ausgeathmet werden müssen, maassgebend, indem sich dieselbe bei der ersten Reihe wie $\frac{33,6}{236,5} = 14,2$ %, bei der zweiten wie $\frac{177,8}{408,5} = 43$ % verhält.

Diese letzteren, nach % berechneten, Differenzen sind höchst bedeutend und dennoch gleichen sich die Experimente beider Reihen darin, dass bei ihnen die Athemnoth ihren Culminationspunkt erreichte, über welchen hinaus die Respiration nicht weiter angehalten werden konnte. Es bleibt somit nichts anderes übrig, als der Mischung, das heisst dem abnormen Sauerstoff- und Kohlensäuregehalte der Luft in den Lungenzellen die heftige Athemnoth zuzuschreiben.

Wurde *nach gehindertem Luftzutritt, bei vorhergegangener normaler Inspiration, eine Exspiration von gewöhnlichem Volumen* gemacht, so erhielt ich nachstehende Resultate:

*Dritte Versuchsreihe.*

| | Normales Athmen | | | | Dauer der Respirationshemmung – 10 Sekund. | | 20 Sekund. | | 30 Sekund. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | Tag | Stunde | Volum einer Exspiration in Kub. Cent. | Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft | Stunde | Kohlensäure nach % | Stunde | Kohlensäure in % | Stunde | Kohlensäure in % |
| 460 | 25. Jan. | 2h56′ | 521 | 4,15 | 3h30′ | 5,51 | 3h45′<br>4h | 5,94<br>5,84 | | |
| 464 | 5. Febr. | 1h25′ | 481 | 3,32 | 1h38′ | 4,38 | | | | |
| 465 | „ | 2h5′ | 494 | 3,35 | 2h48′ | 4,33 | 3h<br>3h15′ | 4,65<br>4,65 | | |
| 466 | „ | 3h37′ | 510 | 3,90 | | | | | 351′<br>410′ | 5,47<br>5,44 |

Diese freilich nur in sehr geringer Anzahl vorhandenen Experimente geben also folgende Mittelwerthe:

| Kohlensäure bei normalem Athmen, in % | Dauer der Hemmung des Athmens | Kohlensäure bei gehemmten Athmen, in % | Differenz beider Kohlensäurewerthe |
|---|---|---|---|
| 3,61 | 10″ | 4,74 | 1,13 |
| 3,75 | 20″ | 5,27 | 1,52 |
| 3,90 | 30″ | 5,45 | 1,55 |

Vergleichen wir diese Experimente mit denen der ersten Versuchsreihe dieses Kapitels, welche sich von den uns jetzt beschäftigenden bloss dadurch unterscheiden, dass die exspirirten Luftquanta möglichst voluminös waren, so finden wir dort bei einer 20 Sekunden dauernden Hemmung der Luftzufuhr, die Kohlensäure um 1,73 %, und bei 30 Sekunden langem Athemhalten um 1,88 % im Verhältniss zu normalem Athmen vermehrt. Da ferner, wenn eine Exspiration von normalem Volum 4,30 % Kohlensäure enthält, in einer 1800 Kub. Cent. betragenden sehr tiefen Exspiration 6,03 % = 108,54 Kub. Cent. Kohlensäure sich befinden, falls die Luftzufuhr zu den Lungen 20 Sekunden lang gehemmt worden ist, so befinden sich, da diese dritte Versuchsreihe für ein normales Exspirationsvolum, nach 20 Sekunden währender Respirationshemmung, eine Vermehrung der Kohlensäure um 1,52 % ergab, in dem ersten, 500 Kub. Cent. betragenden Antheil der angestrengtesten Ausathmung 5,82 % = 29,10 Kub. Cent. Kohlensäure, so dass auf die 1300 Kub. Cent. betragende, tiefere Portion 79,44 Kub. Cent., = 6,11 % kommen. Demnach wird die schon früher durch *direkte* Experimente gewonnene Thatsache auch hier bestätigt, dass die tieferen Portionen der ausgeathmeten Luft reicher an Kohlensäure werden, welche Zunahme aber bei langsamer erfolgenden Athemzügen oder bei gänzlichem Anhalten der Respiration verhältnissmässig geringer ist.

Diese, so eben aufgefundene Differenz des Kohlensäuregehaltes des ersten und zweiten Antheils einer *möglichst starken Exspi-*

*ration nach vorhergegangener gewöhnlicher Inspiration und Abhaltung der Luftzufuhr* musste in folgenden Versuchen noch geringer werden, weil die Exspirationen in zwei gleiche Theile getheilt wurden und die beiden Portionen der ausgeathmeten Luft sich nicht, wie in obigen Untersuchungen, wie 1 : 3 verhielten. Bei diesen Versuchen sind die Unterschiede des Kohlensäuregehaltes der ersten Hälfte der ausgeathmeten Luft von der, bei der vollständigen Exspiration gefundenen Kohlensäure so klein, dass einmal sogar (was jedoch nur von einem Beobachtungsfehler herrühren kann) die vollständige Exspiration ärmer an Kohlensäure gefunden wurde als die erste Hälfte derselben und dass überhaupt der in der ersten Hälfte gefundene Kohlensäuregehalt sich von demjenigen der vollständigen Exspiration so wenig unterscheidet, dass die hier bestehende Differenz durch das Experiment gar nicht mehr gefunden werden kann.

*Vierte Versuchsreihe.*

| | | Normales Athmen. | | Respirationshemmung von 40 Sekunden. Erste Hälfte der Exspiration | | Vollständige Exspiration | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | Tag | Stunde | Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft | Stunde | Kohlensäure in 100 Luft | Stunde | Kohlensäure in % |
| 569 | 6. Juli | $8^h4'$ | 4,58 | $7^h38'$ | 6,82 | | |
| 570 | „ | $9^h41'$ | 5,24 | $9^h52'$ | 7,34 | $10^h20$ | 7,34 |
| 571 | 8. Juli | $7^h15'$ | 4,52 | $7^h41'$ | 7,03 | $72^h5'$ | 6,82 |
| 572 | „ | $8^h30'$ | 4,38 | $8^h45'$ | 6,62 | | |
| | | Mittel: | 4,68 % | | 6,95 % | | |

Die Differenz beider Mittelwerthe ist 2,27 %, wogegen die Tabelle I dieses Kapitels für eine vollständige Exspiration eine Differenz von 2,32 %, also bloss eine Vermehrung von 0,05 % nachweist.

# Anhang.

*Experimente über den Kohlensäuregehalt derjenigen Luft, welche öfters ein- und ausgeathmet wird.*

Mehrere Forscher haben unter diesen Verhältnissen eine Zunahme der Kohlensäure bemerkt *). Ich habe darüber 3 Versuche angestellt. Da ich aber das Volum der Luft, welche ich mehrmals respirirte, leider nicht notirt habe (es beträgt ungefähr 7000 Kub. Cent.), so kann ich die ausgeschiedene absolute Menge von Kohlensäure nicht berechnen. Ueberhaupt ist an eine genaue Würdigung der verschiedenen, hier auftretenden Momente nicht zu denken, da gegen Ende des Versuches die Zahl und Tiefe der Athembewegungen, wegen der eintretenden Athemnoth, unwill-

| | | Normales Athmen. | | Wiederholtes Athmen derselben Luft. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | Tag | Stunde | Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft | Stunde | Kohlensäure in 100 Theilen Luft | Dauer des Versuches | Zahl der Athemzüge während des Versuches |
| 345 | 2. Septemb. | $10^h20'$ | 4,45 | $11^h39'$ | 5,84 / 5,90 | fast 3 Min. | 26 |
| 346 | „ | $2^h30'$ | 3,76 | $2^h40'$ | 4,94 / 4,92 | 2 Minuten | 17 |
| 348 | 3. Septemb. | $10^h27'$ | 4,60 | $10^h38'$ | 5,38 / 5,24 | 1 1/2 Minuten | 23 |

*) *Allen* und *Pepys* fanden nach 3 minutlichem Athmen eine Vermehrung von 1,5 %; *Jurine* sah ein Steigen von 6 % auf 11 %. *Pfaff* fand in 2mal geathmeter Luft 5 %, in 4mal geathmeter 5,8 %, nach 8 Athemzügen 8,2 %.

*Jurine* will unter diesen Umständen eine Vermehrung der Aus-hauchung des Stickgases bemerkt haben.

kührlich zunimmt. Die Versuche sind, mit Ausnahme des ersten, so lange fortgesetzt worden, als es möglich war.

Obgleich diese Versuche nach keinem bestimmten Plane ausgeführt sind, und namentlich die Dauer derselben, sowie die Zahl und Tiefe der dabei vollführten Athemzüge, nicht in vollständig vergleichbaren Verhältnissen zu einander stehen, so ist doch, wie nicht anders zu erwarten war, eine Zunahme der Kohlensäure durch dieselben erwiesen.

Gehörig systematisch angeordnete und consequent durchgeführte Experimente müssten auch hier ohne Zweifel constant wiederkehrende Zahlenverhältnisse liefern.

# Fünfter Abschnitt.

## *Ueber die durch die Respiration ausgeschiedenen Wasserquantitäten.*

Da die ausgeathmete Luft mit Wassergas gesättigt ist, so folgt schon daraus, dass vermittelst der enormen Volumquantitäten, welche exspirirt werden, bedeutende Wassermengen aus dem Körper austreten müssen.

Die durch die Respiration ausgeschiedene Wasserquantität hängt nun von folgenden Momenten ab:

1) Von der Volumquantität der ausgeathmeten Luft. Je mehr Luft, desto mehr wird auch Wasser exspirirt.

2) Von dem Wassergehalte der eingeathmeten Luft. Je grösser die in derselben enthaltenen Wasserquantitäten sind, desto weniger Wasser wird natürlich von Seiten des Organismus erfordert, um die exspirirte Luft zu sättigen.

3) Von der Temperatur der ausgeathmeten Luft. In einer wärmeren Exspirationsluft muss mehr Wassergas enthalten sein, als in einer weniger warmen, da mit zunehmender Temperatur die Capacität der Luft für Wassergas bedeutend steigt.

4) Als ein viertes Moment dürfen wir vielleicht die Zeit, während welcher die inspirirte Luft in den Lungen verweilt, ansehen. Höchst wahrscheinlich ist bei frequenter Respiration die ausgeathmete Luft nicht vollständig mit Wassergas gesättigt (wie wir unter denselben Verhältnissen hinsichtlich der Kohlensäure gefunden haben). Jedenfalls aber bedingt ein schnelleres Athmen eine Abnahme der Temperatur der ausgeathmeten Luft, so dass also längeres Verweilen der eingeathmeten Luft in den Lungen wenigstens indirekt eine Vermehrung des Wassergehaltes der ausgeathmeten Luft bewirkt. Es versteht sich aber von selbst, dass

durch sehr schnelle Exspirationen, wenn die durch dieselben ausgeschiedene Luft auch nicht vollständig mit Wassergas gesättigt ist, absolut mehr Wasser ausgeschieden wird, als durch langsame Ausathmungen, wenn auch die durch die letzteren exhalirte Luft vollständig mit Wassergas gesättigt ist.

Die genannten Momente sind jedoch auf die Ausscheidung des Wassers durch die Respiration von sehr verschiedenem Einfluss. Die Temperaturschwankungen der durch Athemzüge von normaler Dauer ausgeschiedenen Luft sind verhältnissmässig sehr gering *), so dass dieselben auf die Exhalation des Wassers von keiner bedeutenden Wirkung sind. Wir können desshalb dieses Moment bei den nachfolgenden Berechnungen füglich übergehen und die Wärme der exspirirten Luft immer zu + 37° C. annehmen.

Von viel grösserer Wichtigkeit ist dagegen der Wassergehalt der eingeathmeten Luft. Da das in einer Minute exspirirte Luftquantum im Mittel 6034 Kub. Cent. (reduc. auf + 37° C.) beträgt, so ist das, bei einer (mittleren) Temperatur von + 14° C. eingeathmete Luftvolum = 5522 Kub. Cent. Letzteres enthält, vollkommen gesättigt, 0,06760 Gramm Wasser; wird dasselbe aber auf + 37° erwärmt, so dass es also ein Volum von 6034 Kub. Cent. einnimmt, so steigt der Wassergehalt auf 0,25457 Gramm; demnach muss der Körper 0,18696 Gramm Wasser hergeben, um die exspirirte Luft vollkommen mit Wassergas zu sättigen.

Die Atmosphäre enthält immer gewisse Wasserquantitäten, die jedoch bei den verschiedenen Temperaturgraden Verschiedenheiten zeigen. Zur Berechnung des mittleren Wassergehaltes der Luft bei verschiedenen Wärmegraden der letzteren benutzte ich, da mir keine diese Frage direkt betreffenden Materialien zu Gebote standen, die Beobachtungen, welche *Bouvard* zu Paris über den

---

*) *Valentin* (Lehrbuch der Physiologie, S. 531) fand in einigen Versuchen, die er über diesen Gegenstand anstellte, bei einer Temperaturdifferenz der eingeathmeten Luft von 31° C. in der exspirirten Luft nur einen Wärmeunterschied von 2°,18 C.

Druck der Dampfatmosphäre in den verschiedenen Monaten des Jahres mitgetheilt hat *). Indem ich die um 3 Uhr Nachmittags gemachten Beobachtungen auswählte, erhielt ich folgende Zahlen, welche ungefähr die mittleren, den verschiedenen Wärmegraden entsprechenden, Wasserquantitäten angeben.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1000 Kub. Cent. Luft von | 4° C. | enthalten | 0,00000418 | Gramm | Wassergas. |
| | 9° | „ | 0,00000435 | „ | „ |
| | 14° | „ | 0,00000502 | „ | „ |
| | 19° | „ | 0,00000696 | „ | „ |
| | 24° | „ | 0,00000794 | „ | „ |

Berechnen wir nun *die bei verschiedenen Temperaturgraden exspirirten Wasserquantitäten.*

---

*) *Kämtz*, Lehrbuch der Meteorologie. Bd. 1. S. 333.

| a | b | c | d | e | f | g | h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Lufttemperatur | Eingeathmete Luft (reducirt auf 336‴ Bar. u. auf die jedesmalige Temperatur *) | Ausgeathmete Luft (reducirt auf + 37° C. u. 336‴ Bar.) | In 1 Minute ausgeathmetes Wasser | Wassergehalt der in 1 Minute eingeathmeten Luft | | Wasserverlust des Körpers in einer Minute | |
| | | | | wenn dieselbe vollkommen gesättigt ist | wenn dieselbe bloss mittlere Wasserquantitäten enthält | Beim Athmen von gesättigter Luft | Beim Athmen von Luft, welche bloss mittlere Wassermengen enthält |
| | in Kubikcentimetern | | in Grammen | | | | |
| 4° C. | 5827 | 6634 | 0,27988 | 0,03997 | 0,02435 | 0,23991 | 0,25553 |
| 9° | 5680 | 6334 | 0,26723 | 0,05219 | 0,02471 | 0,21503 | 0,24252 |
| 14° | 5522 | 6034 | 0,25457 | 0,06760 | 0,02772 | 0,18696 | 0,22685 |
| 19° | 5353 | 5734 | 0,24191 | 0,08682 | 0,03725 | 0,15509 | 0,20466 |
| 24° | 5234 | 5430 | 0,22926 | 0,11164 | 0,04156 | 0,11761 | 0,18770 |

*) Das im Mittel in einer Minute ausgeathmete Luftvolum ist 6034 Kub. Cent. (berechnet auf + 37° C.), die mittlere Lufttemperatur beträgt 14° C. Nach den über den Einfluss der Wärme auf die Volumverhältnisse der überhaupt ausgeathmeten Luft Seite 80 mitgetheilten Daten wurden die Luftvolumina berechnet, welche den übrigen Temperaturgraden entsprechen.

Es resultiren hieraus folgende Thatsachen:

1) Da bei niederer Temperatur die exspirirten Luftvolumina bedeutend zunehmen, so ist auch die unter diesen Verhältnissen ausgeathmete Wassermenge grösser als bei höherer Temperatur. Es verhält sich z. B. die bei + 24° ausgeathmete Wasserquantität zu der bei 4° exspirirten wie 1 : 1⅕.

Die ansehnliche Menge von Getränken, welche wir bei warmer trockener Witterung zu uns nehmen, muss grossentheils auf anderen Wegen, durch die Nieren und die Haut, entfernt werden.

2) Je wärmer die Luft ist, desto weniger ist dieselbe mit Wassergas gesättigt; bei + 4° verhält sich der mittlere Wassergehalt zum Maximum der Wassermenge, welche die Luft bei dieser Temperatur aufnehmen kann, wie 1 : 1,6; bei + 24° jedoch nur wie 1 : 2,7. Desshalb ist, unter der Voraussetzung, dass die inspirirte Luft bloss mittlere Wassermengen enthält, der durch die Respiration bedingte Wasserverlust des Körpers bei einer Lufttemperatur von + 24° = 1, wenn derselbe bei + 4° 1³/₁₀ beträgt.

3) Vollkommen gesättigte warme Luft enthält viel mehr Wasser als gesättigte kalte Luft. Desshalb ist auch der durch die Respiration erfolgende Wasserverlust des Körpers in warmer gesättigter Luft, abgesehen davon, dass die exspirirten Luftquantitäten weniger betragen als in der Kälte, viel geringer als in kalter Luft. Ist der Wasserverlust bei + 24° = 1, so wird er bei + 4° = 2.

4) Enthält die Luft jedoch die mittleren, jeder einzelnen Temperatur zukommenden, Quantitäten von Wasser, so wird, wenn der durch die Respiration verursachte Wasserverlust des Körpers bei + 24° = 1 ist, die von dem Körper abgegebenen Wassermenge bei + 4° = 1⅖.

5) Die Wasserquantitäten der ausgeathmeten Luft, welche von dem in der inspirirten Luft enthaltenen Wasser, falls dieselbe völlig gesättigt war, herrühren, verhalten sich zu den Wassermengen, die dem Körper entzogen werden

bei 4° wie 1 : 7,1
„ 9° „ 1 : 5,1

bei 14° wie 1 : 3,8
„ 19° „ 1 : 2,8
„ 24° „ 1 : 2,0.

6) Enthält jedoch die inspirirte Luft nur mittlere Wasserquantitäten, so verhält sich in der ausgeathmeten Luft das von der eingeathmeten Luft herrührende Wasser zu dem von dem Organismus abgegebenen

bei 4° wie 1 : 11,6
„ 9° „ 1 : 10,7
„ 14° „ 1 : 9,1
„ 19° „ 1 : 6,5
„ 24° „ 1 : 5,6.

7) Das in einer Minute im Zustande der Ruhe exspirirte Wasser beträgt im Durchschnitte 0,25 Gramm; also in 1 Stunde 15 Gramme, in 24 Stunden 360 Gramme; davon stellen im Mittel 321 Gramme den Wasserverlust des Körpers dar. Es gelten jedoch diese Zahlen nur für den Zustand vollkommener körperlichen Ruhe, wesshalb die in 24 Stunden bei abwechselnder Ruhe und Bewegung exspirirte Wasserquantität nothwendig grösser sein muss.

# Sechster Abschnitt.

## *Geschichte der Respirationstheorieen.*

Bevor wir, mit Hülfe der aufgefundenen Thatsachen, zu allgemeineren Ansichten über die Vorgänge bei der Respiration zu gelangen suchen, ist es nöthig, die Respirationstheorieen in ihrer geschichtlichen Entwickelung darzustellen. Begnügen wir uns, bloss die wesentlichsten Punkte festzuhalten, indem wir unbedeutende Modifikationen und Abweichungen unberücksichtigt lassen, so haben wir uns im Ganzen nur mit sehr wenigen differenten Ansichten zu beschäftigen, welche noch zudem in der Regel nur in den allgemeinsten, oft sehr vagen Umrissen angedeutet sind, so dass unserer Aufgabe um so eher mit wenigen Worten genügt werden kann, als einige der zu besprechenden Gegenstände in dem folgenden Abschnitte specieller erörtert werden sollen. Wir werden jedoch nur derjenigen Theorieen gedenken, welche in der Sprache und im Geiste der Wissenschaft ausgedrückt sind und die nicht versäumt haben, zur Erklärung von Vorgängen, in denen physikalische und chemische Kräfte eine so grosse Rolle spielen, die Erfahrungen dieser Wissenschaften zu benutzen.

Ich beginne mit *Lavoisier*, welcher die wenigen Thatsachen, die damals zu Gebote standen und die er fast sämmtliche seinen eigenen Untersuchungen verdankte, zu einer Theorie der Respiration verknüpfte, welche in ihren Grundzügen ewig wahr bleiben wird. Wenn auch schon seine nächsten Nachfolger durch weitere, das Athmen und Blutleben betreffenden Entdeckungen, Modifikationen mit der ursprünglichen Theorie vornehmen mussten; wenn wir auch heute in vielem und wichtigem Detail weiter gekommen sind, so bleibt doch die Uebertragung der über die Verbrennung des Kohlenstoffes und Wasserstoffes gewonnenen Er-

fahrungen auf die Verhältnisse der Respiration und der Wärmebildung eine unumstössliche Grundwahrheit und es erscheint dieser erste, von einer so glänzenden Autorität ausgegangene Versuch der jungen wissenschaftlichen Chemie, sich in der Physiologie geltend zu machen, der Hauptsache nach durchaus als ein gelungener. Die ausgeathmete Kohlensäure entsteht nach *Lavoisier* durch Verbindung des Kohlenstoffes des Blutes mit dem Sauerstoffe der eingeathmeten Luft; ebenso ist auch, da die exspirirte Kohlensäure nicht die ganze durch das Athmen aufgenommene Sauerstoffmenge enthält, ein Theil des ausgeathmeten Wassers ein Oxydationsprodukt des Wasserstoffes des Blutes durch den atmosphärischen Sauerstoff, während ein anderer Theil desselben von dem aus dem Blute in die Lungen austretenden Wasser herrührt *).

Keine Thatsache stand damals dieser kühnen Anwendung chemischer Principien in der Physiologie entgegen, als die Erfahrung, dass die Temperatur der Lungen nicht oder doch nur unbedeutend höher ist, als diejenige der übrigen Theile des Körpers, was unmöglich der Fall sein kann, wenn jene Oxydationserscheinungen, aus denen *Lavoisier* mit Recht die thierische Wärme ableitete, ausschliesslich innerhalb der Athemorgane vor sich gingen. Diesen Einwurf machten zuerst *Lagrange* und *Hassenfratz*. Sie verlegten desshalb die genannten Oxydationsprocesse in das *Parenchym aller Organe des Körpers*. Nichts war natürlicher als diese Ansicht, denn der Stoffwechsel muss in den Haargefässen der Organe thätig sein. Obgleich die detaillirtere Durchführung ihres Gedankens nicht ganz richtig war, indem nach ihnen der Sauerstoff nur locker im arteriellen Blute gebunden wird,

*) Fälschlich wird in manchen Lehrbüchern der Physiologie behauptet, *Lavoisier* kenne keine andere Quelle des ausgeathmeten Wassers als die unmittelbare Verbindung des Sauerstoffes der eingeathmeten Luft mit dem Wasserstoffe der, nach ihm aus dem Blute in die Lungenzellen austretenden Kohlenwasserstoffhaltenden Flüssigkeit. Er nimmt, wie gesagt, auch eine Abscheidung von Wasser aus dem Blute in die Lungenzellen an, welches er hier in Gasgestalt entweichen lässt. (Premier mémoire sur la transpiration des animaux. Mém. de l'Acad. Paris 1797).

um sich erst in den Haargefässen der Organe mit dem Kohlenstoffe des Blutes zu vereinigen und auf diese Weise die thierische Wärme zu unterhalten, so war doch durch sie ein grosser Fortschritt in der Physiologie der Respiration veranlasst; man war der Quelle Kohlensäureerzeugung um einen Schritt näher gekommen, man musste zunächst das Vorhandensein von *Gasen im Blute* vermuthen. Ehe man die letztere Frage auf experimentellem Wege zu lösen versuchte, glaubte man sich schon durch einige Erscheinungen zu der Annahme veranlasst, die Kohlensäure sei in den thierischen Säften präformirt. Ja bereits *Lavoisier* erwähnt dieser Meinung, die man, wie er sagt, möglicherweise hegen könnte und suchte sie zu entkräften. Der vortreffliche *Spallanzani* hält die ausgeathmete Kohlensäure für ein Produkt der in den thierischen Säften vorhandenen Kohlensäure, deren allgemeine Verbreitung und Bildung durch lebende und todte thierische, überhaupt organische Stoffe er sehr schön durch Experimente nachwies. Er leitete einen Theil der ausgeathmeten Kohlensäure von der in den Verdauungssäften der Thiere enthaltenen Kohlensäure her und wollte einen direkten Beweis für seine Meinung darin finden, dass die von ihn untersuchten Thiere (Gartenschnecken) nach starkem Fressen weit grössere Quantitäten von diesem Gase exspirirten, als im nüchternen Zustande. Als sicherster Beweis von dem Vorhandensein von Kohlensäure in den thierischen Säften galt ihm die von ihm zuerst gemachte wichtige Erfahrung, dass Thiere selbst in Wasserstoffgas noch Kohlensäure entwickeln *).

Bald waren viele Forscher bemüht, den Gasgehalt des Blutes nachzuweisen, in welchem, so wie in vielen festen organischen Gebilden, schon längst *Mayow*, *Boyle*, besonders aber *Muschenbroek* durch zahlreiche Versuche „Luft" gefunden hatten. Lange Zeit hindurch gelangte man jedoch wegen der ungenügenden und fehlerhaften Methoden, die man hierbei anwandte, zu keinen erheblichen Resultaten, bis bekanntlich *Magnus* **) im Jahr 1837 durch zweierlei, die

*) *Lazare Spallanzani* Mémoires sur la respiration, traduits par *Senebier*. Genève An. XI. — *Gehlen's* N. Journal der Chemie 3ter Band. S. 359 u. s. w.

**) *G. Magnus*, über die im Blute enthaltenen Gase. *Poggendorff's* Annalen. Band 40. — Einer der bemerkenswerthesten Vorgänger von

früheren an Genauigkeit bei weitem übertreffenden Methoden in einer Epoche machenden Arbeit den sehr bedeutenden Gasgehalt des Blutes nachwies und allein die Quantität der im venösen Blute enthaltenen Kohlensäure auf wenigstens $^1/_5$ des Volumens des Blutes anschlug. Diese Versuche wurden durch *Magendie* neuerdings bestätigt, welcher in 100 Grammen venösen Blutes 0,078 Gramm, dagegen in eben so vielem Arterienblute 0,066 Gramm Kohlensäure fand*). Es sind demnächst weitere Mittheilungen darüber zu erwarten, indem der genannte Forscher in Gemeinschaft mit *Gay-Lussac* diesen, für die Physiologie so höchst wichtigen Gegenstand gegenwärtig einer genauen Untersuchung unterwirft. Die Respirationslehre wird diese Erfahrungen zunächst benutzen und manche wichtige Frage, die wir gegenwärtig nur annähernd lösen, ja kaum ahnen können, auf befriedigendste Weise zur Erledigung bringen.

Ausser dem kohlensauren Gase nahmen manche Physiologen noch Sauerstoff- und Stickgas in dem Blute an. Man bemerkte nämlich Veränderungen in dem Stickgasgehalte der ausgeathmeten Luft und musste desshalb, gleichviel ob man in derselben eine Abnahme oder Zunahme von Stickstoff gefunden hatte, den letzteren entweder als chemisch gebunden oder mechanisch gelöst im Blute annehmen. Andere (besonders *Allen* und *Pepys*, *H. Davy*, *Müller*, *Bischoff*, *Marchand)* bemerkten in Sauerstoff- und Stickstofffreien Gasarten mittelst Versuchen an Thieren und Menschen durch die Respiration eine Ausscheidung von Sauerstoff- und Stickgas, so wie von Kohlensäure. *Magnus* schied mittelst des Vacuums aus dem Blute Sauerstoff- und Stickgas in verhältnissmässig bedeutenden Quantitäten aus. *Boussaingault* fand schliesslich in den sensibeln Exkretionen der Vögel nur $^1/_3$ des in den Nahrungsmitteln enthaltenen Stickstoffes wieder und bestimmte das Verhältniss der ausgeathmeten Volummenge des kohlensauren Gases zu dem exhalirten Stickgase auf etwa 100 : 1. Alle

---

*Magnus* ist *van Enschut*, dessen Dissert. de respirationis chymismo. Traj. ad Rhen. 1836. viele eigenen Untersuchungen über die Gase des Blutes enthält.

*) Comptes rendus 1844. Nr. 14.

diese Erfahrungen bewiesen unwidersprechlich das Vorkommen von freiem, chemisch nicht gebundenem Stickgas und Sauerstoffgas in dem Blute.

Die Art und Weise des Austretens der Kohlensäure und der Aufnahme des Sauerstoffes in das Blut konnte nun keinem Zweifel mehr unterliegen; man hatte vorzüglich die Aufgabe, zu untersuchen, in welcher Form die Gase im Blute sich befinden und wie sich dieselben bei ihrem Contakte sowohl mit der atmosphärischen Luft als auch mit anderen Gasarten verhalten. Mehrere Physiker, vor allen *Graham*, erläuterten die Gesetze, welche der Verbreitung (Diffusion) der Gasarten zu Grunde liegen und wendeten die aufgefundenen Thatsachen an zur Erklärung des Luftwechsels in den Athmungsorganen *).

*Magnus* hatte schon auf einige der wichtigsten Consequenzen, die aus dem Gasgehalte des Blutes für die Respiration erfolgen, aufmerksam gemacht; der kritische und hellsehende Geist eines *Berzelius* säumte nicht, sich für die neue Anschauungsweise auszusprechen. „Zufolge der Versuche von *Magnus*", so äussert sich *Berzelius* **), „müssen wir unsere Vorstellungen von dem Vorgange bei dem Athmungsprocess ändern und annehmen, dass das in den haarfeinen Ge-

---

*) In *Poggendorff's* Annalen (Band 28) findet sich am Schlusse der Abhandlung von *Graham* über die Diffusionsgesetze folgende Notiz, wobei nur zu bedauern ist, dass der Uebersetzer diesen Gegenstand so kurz abfertigt: „Es muss hier noch erwähnt werden, dass *Graham* auch einen Versuch gemacht hat, einige noch dunkle Punkte beim Mechanismus des Athmens durch die Diffusion zu erklären. Der Raum, in welchen die Luft beim Athmen eintritt, besteht aus der Luftröhre, aus den grösseren Verästelungen derselben und aus den kleinen Lungenzellen; das Ganze mag etwa 300 Kub. Zoll Luft fassen, wovon bei jedem Athemzuge etwa 20 Kub. Zoll ausgetrieben werden. Klar ist es, dass diese 20 Kub. Zoll meist aus der Luftröhre und den vorderen Theilen der grösseren Verästelungen herrühren müssen, dass dagegen die feineren Verzweigungen dadurch nicht mit frischer Luft versehen werden können. Diess, meint *Graham*, geschehe durch den Akt der Diffusion und eben so entstehe die Aufgeblasenheit der letzteren Röhrchen und Zellen, indem sie für die in ihnen enthaltene Kohlensäure ein etwas grösseres Volum Sauerstoff mittelst Diffusion aufnehmen."

**) Lehrbuch der Chemie. 3. Aufl. 9. Band S. 131.

fässen der Luftzellchen in den Lungen ausgebreitete Blut durch die Flüssigkeit in den benetzten Häutchen, von denen es in den Gefässen eingeschlossen wird, Sauerstoffgas aufnimmt und Kohlensäuregas ausdünstet, zufolge der Gesetze der Diffusion der Gase in einander und in die Flüssigkeiten, mit denen sie in Berührung kommen, nicht aber zufolge einer chemischen Vereinigungs-Verwandtschaft, was ausserdem ganz offenbar daraus ersichtlich ist, dass atmosphärische Luft, die eine gewisse Menge kohlensaures Gas enthält, venöses Blut nicht mehr in arterielles verwandelt, ungeachtet solche Luft noch viel Sauerstoff enthalten kann."

Bei den Ansichten, die man sich gebildet hatte über die Art, wie der Gaswechsel zwischen dem Blut und den Lungen erfolgt, durfte man jedoch nicht stehen bleiben. Man musste den Zustand, in welchem die Gase in dem Blute sich befinden, näher erforschen und überhaupt die Beziehungen derselben zu den einzelnen Bestandtheilen des Blutes zu erkennen suchen. Die Schwierigkeiten, die sich hier bieten, sind so gross, dass man den verschiedensten und sich widersprechendsten Ansichten begegnet, von denen sich leider die wenigsten auf direkte Beobachtungen stützen. Nicht mit Unrecht wurden gerade die hier sich bietenden Fragen von vielen Physiologen und Chemikern als die wichtigsten in der Respirationslehre angesehen. Wenn man aber glaubt, durch die befriedigende Lösung derselben seien alle, an die Theorie der Respiration zu stellenden Bedingungen erfüllt, so ist dieses ebenso einseitig, als wenn man in der Kenntniss der Gesetze, welche dem Gaswechsel bei der Respiration zu Grunde liegen, den ganzen Gegenstand erschöpft zu haben glaubt und das Athmen für einen blossen Ortswechsel einiger Gasarten erklärt, ohne der Entstehung und Bildung derselben nachzuforschen. Beide Fragen über die physikalischen und chemischen Verhältnisse der Respiration stehen jedoch in viel engerem Zusammenhang, als gewöhnlich angenommen wird und es haben in der That die Forschungen über die die Gase des Blutes der Lehre von dem Chemismus der Respiration eine ganz andere Wendung gegeben.

Ueber die Art der Lösung der Gase in dem Blute hat man drei verschiedene Ansichten aufgestellt. *Hewson* und der um die

Entwickelungsgeschichte des Blutes sehr verdiente *Schultz* sprachen von einer in den Blutkörperchen vorkommenden elastischen Flüssigkeit, eine Ansicht, welcher übrigens die Wahrheit zu Grunde liegt, dass die Blutkörperchen eine bedeutende Verwandtschaft zu den beim Athmen in Betracht kommenden Gasen zeigen. Andere glaubten, dass die Gase gleichmässig in dem Blute gelöst seien, also gerade so, wie überhaupt die Absorption derselben durch Flüssigkeiten erfolgt. Endlich nahm man, indem man die Anwesenheit von freiem Stickgas im Blute läugnete, eine Verbindung der Kohlensäure mit irgend einer Basis zu einem Salze an und liess den gesammten Sauerstoff ebenfalls an diesen oder jenen leicht oxydirbaren Bestandtheil des Blutes treten.

Eine nähere Betrachtung der Sache im nächsten Abschnitte wird uns zeigen, dass bei der Lösung der Gasarten im Blute sowohl chemische als physikalische Kräfte wirksam sind und dass beide Hauptbestandtheile des Blutes, die Kügelchen und das Plasma, hier in Betrachtung kommen müssen.

Diejenigen, welche eine einfache mechanische Absorption der Gase annahmen, unterstützten ihre Ansicht besonders dadurch, dass sich durch die verschiedensten Gasarten die in dem Blut enthaltenen Gase austreiben lassen, dass der gesammte Gasaustausch allen Erfahrungen zufolge auf rein physikalische Weise vor sich zu gehen scheine. Dagegen sind aber, abgesehen davon, dass eine so höchst zusammengesetzte Flüssigkeit wie das Blut eine derartige Vorstellungsweise nur unter gewissen, sehr wesentlichen Beschränkungen zulässt, nicht wenige Einwendungen gemacht worden. Ich glaube, einige derselben hier hervorheben zu müssen.

*Berzelius* kann die Thatsache, dass die Quantität der ausgeschiedenen Kohlensäure derjenigen des absorbirten Sauerstoffes ziemlich nahe kommt, mit der bekannten Erfahrung nicht in Einklang bringen, dass Flüssigkeiten eine viel grössere Menge Kohlensäure als Sauerstoff zu absorbiren vermögen und dass demnach für jedes Volum Sauerstoff, welches in das Blut aufgenommen wird, ein sehr viel grösseres Volum Kohlensäure ausgetrieben

werden müsste. *Liebig* findet *) mit der Annahme von im Blute in freiem, ungebundenem Zustande befindlichen Sauerstoffgas die starke Verwandtschaft des Faserstoffes und des Blutfarbestoffes zum Sauerstoffe nicht vereinbar. Andere bestreiten die Möglichkeit der Existenz freier Kohlensäure bei der alkalischen Reaktion des Blutes und *H. Nasse* **) findet die Annahme, dass kohlensaures Gas im Blute diffundirt sei, unverträglich mit der Erfahrung, dass das Serum und selbst auch das geschlagene Blut mehr Kohlensäuregas als das Wasser zu absorbiren im Stande ist. Diese und andere Einwürfe, die man gegen die uns eben beschäftigende Vorstellung über die Lösung der Gase im Blute gemacht hat, schienen beim ersten Anblicke die ganze Lehre vom Gasgehalte des Blutes umzustossen, so dass der zuletzt erwähnte Physiologe (a. a. O.) nach Besprechung der *Magnus*'schen Experimente sich äussert: „Sollen wir nun erklären, in welchem Zustande die Luft, welche in den erzählten Versuchen ausgeschieden wurde, sich im Blute befunden habe, so treffen wir auf solche Schwierigkeiten, dass wir fast versucht werden, von dem Unternehmen ganz abzustehen. Gerade durch die Versuche von *Magnus*, durch die man jetzt die Lehre vom Athmen aufgehellt glaubt, ist dieser Gegenstand noch dunkler als zuvor geworden."

Denjenigen, welche die Kohlensäure als mit einer Basis zu einem Salze verbunden annahmen, fiel es nicht schwer, für die hinsichtlich des Gewichtes verhältnissmässig höchst geringe Quantität von kohlensaurem Gase, die man aus dem Blute ausgetrieben hatte, eine mehr als adäquate Menge irgend einer Basis behufs einer chemischen Verbindung aufzufinden. Diese Vorstellungsweise führte z. B. *Liebig*, dem die Respirationslehre so vieles verdankt, mit dem Natron durch ***). Er zeigte, dass im Blute mehr Natron enthalten ist, als zur Bildung von doppeltkohlensaurem Natron er-

---

*) Handwörterbuch der Chemie von *Liebig*, *Poggendorff* und *Wöhler*. Band 1. S. 899.

**) *Wagner's* Handwörterbuch der Physiologie. Artikel Blut.

***) Handwörterbuch der Chemie. Band 1. Artikel Blut.

forderlich ist und dass die in diesem Salz enthaltene Kohlensäure durchaus hinreicht, um die Mengenverhältnisse zu erklären, in welchen bei der Respiration das kohlensaure Gas aus dem Blute ausgeschieden wird. Später nahm er einen andern Träger der im Blute enthaltenen Gase an, indem er zeigte, dass das im Blute befindliche Eisen, wenn man dasselbe sich im oxydulirten Zustande denkt, mehr als genügend ist, um sich mit der später in den Lungen austretenden Kohlensäure zu verbinden *). Es liessen sich vielleicht noch mit anderen Bestandtheilen des Blutes ähnliche Anschauungsweisen durchführen. *Liebig* bestreitet übrigens durchaus nicht, dass auch andere Bestandtheile des Blutes als Träger der Kohlensäure dienen können.

In einer klassischen Abhandlung **) hat *Mulder* vor kurzem gezeigt, dass die in der Blutflüssigkeit gelösten organischen Stoffe: das Eiweiss und der Faserstoff eine grosse Verwandtschaft zum Oxygen haben, indem nämlich das in beiden genannten Stoffen bekanntlich enthaltene Protein in verschiedene Oxydationsstufen umgewandelt wird, welche *Mulder* Deut- und Tritoxyd nennt. Den Faserstoff hält er sogar für den hauptsächlichsten, wo nicht alleinigen Träger des im Blute vorhandenen Sauerstoffes.

Eine solche Einwirkung des atmosphärischen Sauerstoffes auf die einzelnen Bestandtheile des Blutes beim Athmen ist schon von vorn herein höchst wahrscheinlich, da mit dem respiratorischen Processe nothwendig chemische Veränderungen einiger Bestandtheile des Blutes verbunden sein müssen. Es lassen sich manche

---

*) *Liebig*, Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie. Braunschweig 1842. S. 280.

Es kann mir hier nicht beifallen, die grosse Wichtigkeit des Eisens für die Blutkörperchen zu läugnen, eine Thatsache, für welche unter anderem auch die Therapie in ihren Erfolgen bei der Behandlung der Bleichsucht durch Eisenmittel Beweise beibringt. Damit ist aber noch nicht erwiesen, dass das Eisen der hauptsächlichste Träger des eingeathmeten Sauerstoffes und der ausgeschiedenen Kohlensäure sei.

**) Ueber die Oxydationsprodukte des Proteins im thierischen Organismus. Annalen der Chemie von *Wöhler* und *Liebig*. Jahrgang 1843.

Unterschiede, welche schon längst zwischen dem venösen und arteriellen Blute aufgefallen waren, gar nicht anders als durch chemische Veränderungen des Blutes erklären. So ist, um nur ein an die *Mulder*'sche Arbeit sich anreihendes Beispiel anzuführen, durch *Scherer* schon früher gezeigt worden, dass der aus dem venösen, nicht aber der aus dem arteriellen Blut erhaltene Faserstoff sich in Salpeterwasser löst; dem übereinstimmend fand später *Mulder*, dass die eine der Oxydationsstufen des Proteins, das Bioxyd, welches gebildet wird, indem der Faserstoff Sauerstoff aufnimmt, sich ebenfalls in der genannten Flüssigkeit nicht löst. Ferner sah *Scherer*, dass frischer Faserstoff, mit Luft in Berührung gebracht, Sauerstoff absorbirt und dafür Kohlensäure entwickelt und zwar weniger als der aufgenommenen Menge Sauerstoff entspricht, was auf die Bildung einer Sauerstoffverbindung des Proteins hindeutete. Bei gekochtem Faserstoff war dieses jedoch nicht der Fall, indem alsdann, wie später *Mulder* zeigte, aller Faserstoff die Umwandlung in beide Oxyde bereits erlitten hat.

Diese und andere Verhältnisse deuten auf wesentliche, durch die Respiration bedingte Verschiedenheiten der wichtigsten organischen Stoffe, welche in der Blutflüssigkeit gelöst sind. Doch sind diese Thatsachen eben nur geeignet, den Weg zu zeigen, welchen hier die Forschung zu nehmen hat; als Anhaltspunkte zu exakten Untersuchungen können sie zur Zeit noch nicht verwendet werden; es gelang *Mulder* namentlich nicht, die quantitativen Verhältnisse der erwähnten, von ihm entdeckten Stoffe anzugeben. Jedenfalls ist klar, dass die Respirationslehre durch chemische Studien über die Differenzen zwischen dem venösen und arteriösen Blute sehr bedeutend gefördert werden muss.

Die Frage über die Art und Weise des Zerfallens der organischen Moleküle, in welcher also auch diejenige über die Bildung des durch die Respiration ausgeschiedenen kohlensauren, Wasser- und Stickgases enthalten ist, ist bisher kein Gegenstand des Experimentes oder der Beobachtung gewesen. Man hat sich begnügt, im Allgemeinen von einer durch den inspirirten Sauerstoff erfolgenden Oxydation des in den verschiedenen

Geweben enthaltenen Carbons und Wasserstoffes zu sprechen und wenn seit *Lavoisier* bis zur Gegenwart auch in diesem Punkte die Wissenschaft einige Fortschritte gemacht hat, so bestanden dieselben fast nur darin, dass in Folge der Entdeckung von Gasen im Blute die Quelle dieser Excretionsprodukte in den verschiedenen Organen gesucht werden musste; die mit der Ausübung der Funktionen verbundenen, sicherlich sehr einfachen Processe, welche dem Zerfallen der organischen Moleküle in die verschiedenen Excretionsstoffe zu Grunde liegen, sind jedoch in ihrem Detail immer noch unbekannt.

Ich glaube in Voranstehendem die wesentlichsten Entwickelungsmomente der Respirationstheorie geschildert zu haben. Manche mit Recht sehr geschätzte Arbeit hat sich — und darin liegt eben ihr Verdienst — nur mit speciellen Untersuchungen, die auf die allgemeinen Verhältnisse des Athmens keinen Einfluss haben, abgegeben und durfte desshalb an diesem Orte, wo es nur auf die allgemeinsten Gesichtspunkte ankam, nicht berücksichtigt werden. Es haben fast alle Arbeiten über das Athmen sich zum Ziele gesetzt, sogleich zu einer Theorie dieser Funktionen zu gelangen, welcher, allerdings höchsten, Aufgabe bei dem wenigen thatsächlichen Materiale, das den Forschern zu Gebote stand, nur unvollkommen konnte entsprochen werden. Ohne den Einwirkungen nachzuforschen, welche sowohl die wichtigsten Einflüsse der Aussenwelt, als auch die übrigen Funktionen unseres Organismus auf das Athmen ausüben und ohne die Gesetze, nach welchen der Gasaustausch beim Athmen erfolgt, auch nur einigermaassen zu untersuchen, gieng man — und es können selbst Männer von grossem Verdienste von diesem Vorwurfe nicht freigesprochen werden — in der Regel viel zu frühe zur theoretischen Construktion des in seinen Einzelnheiten noch viel zu wenig gekannten Gegenstandes über.

Wir haben früher gesehen, wie wenig die bisherigen Vorstellstellungen, welche sich die Physiologie über den Einfluss der Verdauung, der Bewegung, der Lufttemperatur u. s. w. auf die respiratorischen Funktionen geschaffen hat (mögen dieselben wahr oder falsch sein) aus einer genügenden Reihe von Beobachtungen

hervorgegangen sind und doch müssen wir gerade in der Kenntniss dieser Verhältnisse die wesentlichste Bedingung der gedeihlichen Entwickelung der Respirationstheorie erblicken, welche freilich erst dann ihre volle Bedeutung und ihren wahren praktischen Werth erhalten wird, wenn sich derselben sichere, in ähnlichem Sinne angestellte Erfahrungen über alle übrigen Funktionen unseres Körpers anreihen lassen.

# Siebenter Abschnitt.

## *Theorie der Respiration.*

> Ad exemplum eorum, qui noctu et in tenebris iter faciunt, tam lento et suspenso gradu incedere decrevi, ac tam diligenter ad omnia circumspicere, ut si non multum promoverem, saltem me a lapsu tutum servarem.
>
> *Des Cartes*, Diss. de methodo.

---

## Erstes Kapitel.

### *Ueber die Bedeutung der Respiration im Allgemeinen.*

Die Verrichtungen, welche die Respiration in der thierischen Oekonomie zu erfüllen hat, sind sehr mannigfaltig. Zuerst erblicken wir in den Lungen ein bedeutendes *Excretionsorgan*, durch welches ein grosser Theil der gasförmigen (insensibeln) Ausscheidungen, nämlich des kohlensauren, des Wasser- und des Stickgases vermittelt wird.

Das Verhältniss, in welchem hinsichtlich dieser Ausscheidungen die Lungen zu der Haut stehen, ist noch nicht in einer auch nur einigermaassen hinreichenden Beobachtungsreihe untersucht worden, wesshalb wir hierüber bei den Physiologen und Aerzten die grössten Widersprüche finden. Wenn der Experimentirende, wie bekanntlich *Lavoisier* und *Séguin* verfuhren, seinen Körper in der Art hermetisch einhüllt, dass bloss der Zugang zu Mund und Nase für die Respiration freigelassen wird, so wird dadurch die Hautexcretion in ganz abnormale Bedingungen versetzt und eine übermässige Wasserausscheidung hervorgebracht, so dass sich dadurch das überwiegende Verhältniss

erklären lässt, in welchem nach diesen Forschern die Hautabsonderung zur Lungenexkretion stehen soll.

Bei dem gegenwärtigen Standpunkt der Wissenschaft kann jedoch hierüber kein völlig bestimmtes Urtheil gefällt werden; es erscheint übrigens durchaus unmöglich, dass die allgemeinen Bedeckungen, deren Ausbreitung gering ist im Vergleiche zu der ungemein grossen Oberfläche, welche der respiratorische Apparat darbietet, und deren Struktur einen innigen und vielseitigen Contakt der Capillaren mit der atmosphärischen Luft ganz unmöglich macht, hinsichtlich der Quantität ihrer Ausscheidungen die Lungen übertreffen. Die durch die sensibeln Excretionen und durch die Respirationsorgane ausgeschiedenen Carbonmengen sind so gross, dass fast aller, in der Nahrung aufgenommene Kohlenstoff in denselben enthalten sein muss, so dass verhältnissmässig nur geringe Quantitäten auf die Hautperspiration fallen. Die schwierige Frage über die Ausscheidung des Stickgases wurde in neuerer Zeit besonders dadurch ziemlich genau gelöst, dass man die Stickstoffmenge der sensibeln Excretionen geringer als die durch die Nahrungsmittel aufgenommenen Stickstoffquantitäten fand; damit ist freilich nicht entschieden, in welchem Verhältnisse hinsichtlich der Ausscheidung dieses Stoffes die Respiration zu der Hautausdünstung steht. Bedenken wir übrigens, dass, wenn man z. B. den Arm unter Wasser hält, auf der Haut in einem Zeitraume von einer halben Stunde höchstens einige Gasbläschen erscheinen, und dass es nicht einmal von diesen erwiesen ist, ob sie vom Körper selbst ausgeschieden werden, so haben wir einen Grund weiter, die Ausscheidung der Kohlensäure und des Stickstoffes auf diesem Wege für nicht sehr bedeutend zu halten.

Anders verhält es sich aber mit der Absonderung des Wassers durch die Haut, welches besonders während der warmen Jahreszeit, theils in gasförmiger, theils in tropfbarflüssiger Gestalt in sehr bedeutender Quantität ausgeschieden wird.

Durch die grossen Sauerstoffquantitäten, welche vermittelst der Lungen in das Blut aufgenommen werden, ist die Respiration mehr als ein blosser Excretionsprocess. Die im Blute in Folge der Respiration vorkommenden Oxydationsprodukte des Proteins z. B. dienen direkt zur *Ernährung* gewisser Organtheile; es spielt folglich der in-

spirirte Sauerstoff bei der Ernährung eine wichtige Rolle und man man sieht auch hierin ein weiteres Band, welches die Funktionen der Respiration und Ernährung verbindet. Der der atmosphärischen Luft von den Alten beigelegte Name *pabulum vitae* kann in der That wörtlich genommen werden.

Die neuere Wissenschaft, vor allen *Liebig*, hat die innigen Beziehungen zwischen Respiration und Ernährung sehr aufgeklärt. Und in der That kann man zwischen beiden Funktionen keine wesentlichen Unterschiede erblicken; das Athmen ist nichts anderes, als die *eine* Seite des gesammten vegetativen Processes; und es vermittelt die *Anbildung und Rückbildung der gasförmigen Stoffe.*

Endlich steht die Respiration in innigem Zusammenhange mit der *animalischen Wärme.* Wenn auch die alte *Lavoisier*'sche Ansicht in ihrer detaillirten Durchführung aufgegeben werden musste, so bleibt doch als Grundwahrheit übrig, dass der in den Organismus aufgenommene Sauerstoff sich mit gewissen Bestandtheilen des Blutes und der Organe verbindet und dadurch zur Entstehung bedeutender Wärmequantitäten Veranlassung gibt. Das Blut wird in Folge des Athmens etwas wärmer und ausserdem entsteht ohne Zweifel im Parenchyme der Organe durch die Verbindung des im Blut enthaltenen Sauerstoffes mit oxydirbaren Bestandtheilen der Organe ebenfalls Wärme.

Wie aber die Respiration sowohl für die progressive als regressive Metamorphose des Körpers von grösstem Einfluss ist und demnach für das vegetative Leben eine doppelte Bedeutung hat, so ist dieses auch der Fall hinsichtlich ihres Verhältnisses zur animalischen Wärme und wir dürfen über ihrem Einfluss auf die *Entstehung* der animalischen Wärme ihre zweite Bestimmung nicht vergessen, vermöge welcher durch sie ein beträchtlicher Theil der freiwerdenden *Körperwärme ausgeschieden* wird, ein Gegenstand, der unten näher untersucht werden wird.

Wir sehen aus dem Vorhergehenden, dass die Lungen grössere und vielfachere Verrichtungen übernehmen, als die übrigen, dem vegetativen Leben dienenden Organe. Während die Aufnahme der Nahrungsmittel (im engeren Sinn) durch einen besonderen Apparat vermittelt wird; während ferner für die Ausscheidung der unbrauchbar gewordenen sensibeln Stoffe ebenfalls zwei Wege offen stehen, ist

die gesammte Aufnahme und, wenigstens dem grössten Theile nach, auch die Ausscheidung der gasförmigen Körper an ein einziges Organ, die Lungen, gebunden.

Diese qualitativ und quantitativ sehr bedeutenden Verrichtungen, welche die Athemorgane in der thierischen Oekonomie ausüben, sind aber sowohl *an und für sich*, als auch in *in ihren gegenseitigen Verhältnissen* den grössten Schwankungen unterworfen. In dem Studium dieser Schwankungen sind sowohl zum Theile die Grundbedingungen einer wissenschaftlichen Theorie des Athmens, als auch diejenigen Thatsachen enthalten, durch welche die Physiologie der Respiration sich wirklich *praktisch* (in dem besseren Sinne des Wortes!) machen kann.

Die Aufnahme der Nahrungsmittel im weiteren Sinn entspricht bei gesunden Menschen der Quantität der durch die Excretionen austretenden Stoffe. Wenn wir desshalb im Zustande der Gesundheit einen innigen Zusammenhang zwischen der anbildenden und rückbildenden Thätigkeit des Organismus annehmen müssen, so darf dieses jedoch nicht in der Weise geschehen, dass man beiden Lebensfaktoren beständig die gleiche Energie zuschreibt. In jedem Zeitmomente müssen hierin Verschiedenheiten vorkommen und es entspricht durchaus der Natur des Organismus, dass alle einzelnen Theile, obgleich sie dem Ganzen dienen, doch wieder innerhalb eines gewissen Wirkungskreises mit grösserer oder geringerer Energie auftreten und ein momentanes Uebergewicht erlangen können. Je nach den verschiedenen Zuständen des Körpers ist also bald der rückbildende, bald der anbildende Process überwiegend, und erst in verhältnissmässig etwas grösseren Zeiträumen gleichen sich im Zustande des normalen Lebens auf beiden Seiten sämmtliche Effekte in der Art aus, dass eine vollkommene Harmonie zwischen Ernährung und Ausscheidung resultiren muss.

Die Wissenschaft darf sich aber nicht mit der Kenntniss dieses Endresultates begnügen; sie muss dasselbe in seine einzelnen Faktoren zerlegen und zu erforschen suchen, unter welchen Umständen bald der eine, bald der andere mehr wirksam ist.

Mehrere in dem dritten Abschnitte aufgeführten Thatsachen haben uns nun gezeigt, dass im Allgemeinen einem verstärkten Respirationsbedürfnisse durch eine, freilich nicht vollkommen gleichmässige und übereinstimmende Steigerung in der Energie sämmtlicher respiratorischen Funktionen entsprochen wird. Dasselbe findet, wenn wir hierüber auch keine speciellen Untersuchungen besitzen, ganz bestimmt auch hinsichtlich der quantitativen Verhältnisse statt, in welchen die bei der Respiration wirksamen Gase auftreten, so dass eine stärkere Sauerstoffaufnahme nothwendig eine Vermehrung in der Ausscheidung des kohlensauren und des Stickgases, sowie des Wassers bedingen muss ; oder richtiger ausgedrückt, dieselben Ursachen, welche eine Vermehrung der gasförmigen Excretionen hervorrufen, müssen auf der anderen Seite wieder eine Vermehrung der Sauerstoffaufnahme zur Folge haben. Doch kann diese Uebereinstimmung, wie gesagt, niemals ganz vollständig sein. Der anbildende Process, insofern er durch die Sauerstoffaufnahme aus der Atmosphäre vermittelt wird, muss nothwendig zu dem rückbildenden, insofern dieser in der Ausführung gasförmiger Produkte besteht, innerhalb gewisser Grenzen in einem variabeln Verhältnisse stehen.

Diese Frage fängt jedoch kaum an, untersucht zu werden *), und doch ist es keinem Zweifel unterworfen, dass dieses vorzugsweise der Weg ist, der uns am sichersten zur genauesten Kenntniss der Entstehung der Athemprodukte führen wird.

Es fehlten mir leider durchaus die Hülfsmittel zu solchen vergleichenden Untersuchungen über den Sauerstoff- und Kohlensäuregehalt der exspirirten Luft, wesshalb ich mich mit dem Stu-

---

*) Wir besitzen hierüber bloss folgende, aus exakten Untersuchungen resultirende Thatsachen: *Dulong* fand, dass die Sauerstoffabsorption im Verhältnisse zur Exspiration der Kohlensäure bei den Fleischfressern viel bedeutender ist, als bei den Pflanzenfressern. Auch *Marchand* hat bei seinen Untersuchungen an Fröschen gefunden, dass das Verhältniss des inspirirten Sauerstoffes zu der ausgeschiedenen Kohlensäure nicht immer gleich ist und namentlich beim Hungern dieser Thiere zu Gunsten der Kohlensäure ausfällt. —

dium der Gesetze begnügen musste, welche der Exhalation der Luft überhaupt und des kohlensauren Gases insbesondere zu Grunde liegen. Die dadurch erhaltenen Resultate sind im Allgemeinen maassgebend für die Verhältnisse sämmtlicher, bei der Respiration in Betrachtung kommenden Gase, indem bei einer Vermehrung in der Ausscheidung der Kohlensäure auch eine solche in der Absorption des Sauerstoffes und in der Ausscheidung des Stick- und Wassergases erfolgt, ohne dass wir jedoch über die feineren Nuancen zwischen der Ausscheidung der Kohlensäure und der Aufnahme des Sauerstoffes auf diesem Wege Aufschluss erhalten können.

Es ist in den folgenden Kapiteln vorzugsweise von der Exhalation der Kohlensäure, und von den übrigen Gasen nur insofern die Rede, als sich einige auf dieselben beziehenden Fragen auch ohne darüber besonders angestellte Analysen untersuchen lassen.

---

## Zweites Kapitel.

*Ueber die bei der Ausscheidung der Kohlensäure zunächst in Betrachtung kommenden Momente.*

Die Ausscheidung der Kohlensäure durch die Lungen zeigt, selbst bei einem und demselben Individuum, sehr grosse Verschiedenheiten. *Crawford* bemerkte dieses zuerst und seitdem haben alle Physiologen, namentlich diejenigen, welche eine grössere Menge von Beobachtungen angestellt haben, die Erfahrung gemacht, dass die Natur den respiratorischen Funktionen ebenfalls eine bedeutende Breite gestattet.

Den schon Seite 19 angeführten Mittelwerthen meiner respiratorischen Funktionen reihe ich hier die Maximal- und Minimalwerthe an, wobei jedoch wiederholt bemerkt wird, dass sich dieselben (wie auch früher die Mittelwerthe) nur auf den Zustand der vollkommenen körperlichen Ruhe beziehen. Die Mittel aus

den 5 niedersten und den 5 höchsten Werthen der einzelnen respiratorischen Funktionen sind folgende:

| | | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|
| in einer Minute | Pulsschläge | 54 | 101 |
| | Athemzüge | 9 | 15 |
| | Ausgeathmete Kohlensäure (in Kubikcentimetern) | 177 | 452 |
| | Ausgeathmete Luft (in Kubikcentimetern) | 4206 | 9331 |
| | Volum einer Exspiration (in Kubikcentimetern) | 367 | 699 |
| | Kohlensäure in 100 Raumtheilen exspirirter Luft | 3,358 | 6,220 |

Die Physiologie kann als erklärende Wissenschaft auch hier bei der blossen Kenntniss der Thatsachen nicht stehen bleiben; sie muss weiter schreiten und die zahlreichen Ursachen der mannigfaltigen Verschiedenheiten zu erforschen suchen, welche man bei der Ausscheidung des kohlensauren Gases wahrnimmt.

Es ist klar, dass, wenn die Respirationslehre einen Fortschritt machen soll, die bei der Exhalation der Kohlensäure *zunächst* wirkenden Momente vor allem untersucht werden müssen. Diese letzteren treten uns natürlich bei jeder Beobachtung entgegen, welche wir über die Wirkungsweise irgend eines der verschiedenen, auf die Ausscheidung der Kohlensäure influenzirenden, entfernten Einflüsse anstellen; ihre Kenntniss erleichtert desshalb nicht wenig das Studium der auf die Exspiration der Kohlensäure einwirkenden entfernteren Momente.

Zwei Faktoren sind es, welche den beständigen Gaswechsel zwischen unserem Organismus und der atmosphärischen Luft, worin eben die Eigenthümlichkeit des respiratorischen Processes besteht, zunächst bedingen: *die inspirirte Luft* und *die Gase des Blutes*, wobei sowohl die *quantitativen Verhältnisse*, in welchen sie auftreten, als auch der *Druck*, dem sie ausgesetzt sind, betrachtet werden müssen. Da ich jedoch bloss die erste Frage zum

Gegenstand specieller Untersuchungen gemacht habe, so muss ich hinsichtlich der Druckverhältnisse der eingeathmeten Luft und des in den Lungenkapillaren fliessenden Blutes mich kurz fassen *).

Die in die Lungen durch die Inspirationsbewegungen eingeführte Luft ist von der grössten Wirksamkeit auf die Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Blute. Bei der auf jede Inspiration folgenden Ausathmung enthält die exspirirte Luft eine bedeutende Menge kohlensauren Gases; ja die Ausführung der Kohlensäure hört fast ganz auf mit Aufhören der Athembewegungen. Diese letzteren, oder mit andern Worten die in die Lungen eintretenden Luftquantitäten bedingen demnach zum Theil die Ausscheidung der Kohlensäure. Die ein- und ausgeathmete Luftmenge hängt nun ab von der *Zahl* und von der *Grösse* der in einer bestimmten Zeit vollführten Athembewegungen, oder mit andern Worten von der *Dauer der Athembewegungen* und *von dem durch eine Exspiration ausgeathmeten Luftvolum.* Alle übrigen hier noch auftretenden Momente sind, wie wir bald sehen werden, so unbedeutend, dass ihre Wirksamkeit im Vergleiche zu den beiden eben genannten verschwindend klein wird.

Der zweite Faktor ist das *kohlensaure Gas* selbst, welches in dem Blut enthalten ist. Die durch die Lungen austretenden Kohlensäurequantitäten sind demnach von der innerhalb einer bestimmten Zeit durch die Lungenkapillaren strömenden Quantität dieses Gases abhängig. Die in einer gegebenen Zeit durch die Haargefässe der Lungen strömende Kohlensäuremenge wird aber bedingt 1) durch den *Kohlensäuregehalt des Blutes* und 2) durch die in derselben Zeit durch die Lungen fliessende *Blutmenge*, welche letztere wieder von der *Frequenz der Herzschläge*, so-

---

*) Ueber den Druck, unter welchem die Luft in den Lungen strömt, hat *Valentin* in neuester Zeit sehr dankenswerthe Untersuchungen angestellt, ohne dass dieselben jedoch zur genaueren Erklärung des Gaswechsels zwischen dem Blut und den Lungen angewendet werden können.

wie *von der durch eine Systole aus dem Herzen ausgetriebenen Blutmasse* *) abhängig ist.

Den ersten der genannten Faktoren, die eingeathmete Luft, haben wir (im 4ten Abschnitte) mittelst des direkten Versuches untersucht und in seiner Wirkungsweise mathematisch genau bestimmen können. Die dadurch gewonnenen Thatsachen, so wie einige anderen Erscheinungen, erlauben uns aber, unsere Schlüsse auch auf den zweiten Faktor auszudehnen, der kein Gegenstand direkter Versuche sein kann, nämlich auf den Einfluss, den die Kohlensäure des Blutes ausübt auf die Ausscheidung der Kohlensäure in die Lungen.

Die erwähnten Momente bedingen aber, so einfach sie auch sind, noch nicht in letzter Instanz die Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Blute. Versuchen wir nun in den folgenden Kapiteln uns hinsichtlich dieser Frage auf den allgemeinsten Standpunkt zu erheben, welchen wir hier einnehmen können.

---

## Drittes Kapitel.

*Anwendung einiger Lehrsätze der Physik auf den bei der Respiration stattfindenden Gaswechsel.*

Zum Verständnisse der Grundphänomene des Athmens ist die Kenntniss der Gesetze nothwendig, nach welchen die Gase sowohl mit anderen Gasen, als auch mit Flüssigkeiten sich vermischen, ein Gegenstand, den wir in Folgendem kurz darstellen wollen, mit beständiger Rücksicht auf die bei der Respiration in Betrachtung kommenden Verhältnisse.

I. Wenn zwei Gase, die keine chemische Verwandtschaft zu einander haben, in gegenseitige Berührung gebracht werden, so

---

*) Statt dieses Momentes kann höchst wahrscheinlich auch *die gesammte Blutquantität des Körpers* gesetzt werden.

zeigen ihre Theilchen das Bestreben, den Ort zu wechseln und sich mit einander zu vermengen. Verbindet man z. B. zwei Flaschen, von denen die eine höher stehende irgend ein Gas, z. B. Wasserstoffgas, die andere, welche tiefer gestellt ist, kohlensaures Gas enthält, mit einander durch eine Röhre, so wird nach einiger Zeit jede Flasche das gleiche Gasgemisch enthalten, obgleich das specifisch viel leichtere Wasserstoffgas die höher gestellte Flasche zu Anfang des Versuches allein erfüllt hatte.

Diese Thatsache ist für die Verhältnisse der Respiration von unmittelbarster Anwendung. Die in den feineren Verzweigungen der Bronchien enthaltene Luft ist reicher an kohlensaurem Gas als die in den grösseren Aesten der Luftröhre enthaltene Gasmischung; die in den tieferen Parthieen der Lungen eingeschlossene Luft gibt daher ihren Ueberschuss an Kohlensäure an die in den grösseren Bronchialästen befindliche ab.

II) Wenn man eine Röhre, deren oberes Ende durch irgend eine, mit sehr feinen Poren versehene Scheidewand verschlossen ist, welche den Gasen den Durchgang verstattet und deren unteres Ende in eine Flüssigkeit getaucht wird, mit irgend einem Gas, z. B. mit Wasserstoffgas füllt, so tritt nach und nach dieses Gas aus der Röhre und dafür umgekehrt atmosphärische Luft in dieselbe. Nach einer gewissen Zeit befindet sich in der Röhre keine Spur von Wasserstoffgas mehr; sie ist vollständig mit atmosphärischer Luft in der Art gefüllt, dass die letztere ein viel geringeres Volum als das Wasserstoffgas zeigt, welches vorher in der Röhre enthalten war. Man hat sich überzeugt, dass von allen Gasen, welche leichter sind, als die atmosphärische Luft, ein Volum entweicht, das grösser ist, als das der eintretenden Luft; von allen dagegen, die schwerer sind als die atmosphärische Luft, entweicht ein Volum, welches kleiner ist, als das der eintretenden Luft. Die Volumina, die gegenseitig entweichen, verhalten sich genau umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus der Dichtigkeit beider Gase, wenn anders der Druck, unter dem die Gase stehen, zu beiden Seiten gleich ist.

Man hat diesen speciellen Fall, nach welchem die Verbreitung *(Diffusion)* der Gase in einander erfolgt, auf die Verhältnisse der

Respiration unmittelbar anzuwenden gesucht. *Valentin* und *Brunner* *) haben das seit *Lavoisier* bekannte Faktum, dass beim Athmen mehr Sauerstoff absorbirt wird, als zur Bildung der Kohlensäure nöthig ist, in der Art interpretirt, dass dieses nach dem Diffusionsgesetze gar nicht anders möglich sein könne. Da das specifische Gewicht des kohlensauren Gases viel bedeutender ist, als das des Sauerstoffgases, so muss, den genannten Forschern zufolge, auch eine grössere Volummenge Sauerstoff aus den Lungen in das Blut treten, als umgekehrt Kohlensäure aus dem Blute in die Lungen ausgeschieden wird. Ist das Volum des austretenden kohlensauren Gases $= 1$, so wird, da die Dichtigkeit des Sauerstoffgases $= 1{,}1057$ und diejenige des kohlensauren Gases $= 1{,}5245$ ist, (wenn das specifische Gewicht der atmosphärischen Luft $= 1$ gesetzt wird) dem oben angeführten Gesetze gemäss

$$1 : x = \sqrt{1{,}1057} : \sqrt{1{,}5245}$$

so dass x (die absorbirte Sauerstoffquantität) $= 1{,}17421$ wird. In der That zeigen die von den genannten ausgezeichneten Forschern gemachten Analysen, dass die aus der inspirirten Luft verschwundene Oxygenmenge und die aus dem Blut ausgeschiedene Kohlensäurequantität so ziemlich in dem eben angeführten Verhältnisse stehen. Doch sprechen folgende Thatsachen gegen die Möglichkeit, dass der Austausch der Gase zwischen dem Blute und den Lungen vollkommen genau in dem erwähnten Verhältnisse erfolgt **):

---

*) Ueber das Verhältniss der bei dem Athmen des Menschen ausgeschiedenen Kohlensäure zu dem durch jenen Process aufgenommenen Sauerstoff. Archiv für physiologische Heilkunde von *Roser* und *Wunderlich*. 1843. Band 2.

**) *Valentin* macht sich übrigens selbst, in seinem Lehrbuche der Physiologie, § 59, zum Theil die Einwürfe, die gegen seine Ansicht sprechen; ein Gegenstand, den auch *Ludwig* („einige Bemerkungen zu *Valentin's* Lehre vom Athmen." Zeitschr. für rationelle Medicin von *Henle* und *Pfeufer*. Band 3. S. 147) zur Sprache bringt. Beim ersten Anblick erscheint es ganz plausibel, dass der Gaswechsel bei der Respiration genau in der geschilderten Weise erfolgt; auch ich habe mich

1) Die Gase sind im Blute höchst wahrscheinlich nicht in elastischem Zustande vorhanden. Wenn sie aber auch, wie einige Physiologen behaupten, in den Blutkörperchen wirklich in dem erwähnten Aggregatzustande vorhanden sind, so folgt daraus noch nicht, dass der Austausch der Gase wirklich nach jenem besonderen Falle der Diffusion sich regelt, da die Blutkörperchen von der Luft der Lungenzellen durch eine, wenn auch noch so dünne, Schichte von Blutflüssigkeit geschieden sind.

2) Die Druckverhältnisse zu beiden Seiten der den Austausch der Gase vermittelnden porösen Scheidewand (Schleimhaut der Lungenzelle und Membran des Capillargefässes) sind nicht gleich. Die Gase des Blutes stehen nämlich unter einem stärkeren Druck als die in den Lungenzellen befindliche Luft. Soll aber der Gasaustausch genau in dem erwähnten Verhältnisse erfolgen, so muss nothwendig der Druck zu beiden Seiten gleich sein.

3) Die Absorptionsfähigkeit des Blutes für die drei, bei der Respiration in Betrachtung kommenden, Gase ist sehr verschieden, was, wie wir bald sehen werden, bei den Vorgängen des Athmens von grösstem Einfluss ist.

4) Die geringe Alteration, welche der Stickstoff durch das Athmen erfährt, verträgt sich nicht mit der Annahme der Wirksamkeit des Diffusionsgesetzes; denn statt der unbedeutenden Vermehrung des Stickstoffgehaltes der exspirirten Luft müsste sich, unter der gedachten Voraussetzung, bei der verhältnissmässig geringen Stickstoffmenge im Blute, trotzdem dass letzteres nicht viel Stickgas aufnehmen kann, eine Absorption von Stickstoff durch die Respiration ergeben.

5) *Marchand* fand (wie schon früher bemerkt wurde) durch eine Reihe sehr genauer Versuche in der That, dass zwischen

---

längere Zeit mit dieser Ansicht getragen, indem ich sogar von der Nothwendigkeit eines festen, unabänderlichen Verhältnisses zwischen der Absorption des Sauerstoffes und der Exhalation der Kohlensäure überzeugt war und mir die Harmonie zwischen der Erzeugung der Kohlensäure im Parenchym der Organe und ihrer Ausscheidung durch die Lungen auf keine andere Weise glaubte erklären zu können.

der exspirirten Kohlensäure und dem absorbirten Sauerstoff kein konstantes Verhältniss besteht.

Es kann desshalb der Gaswechsel zwischen dem Blut und den Lungen nicht in einem in allen Fällen gleich bleibenden Verhältnisse stattfinden, und wenn auch die chemische Analyse eine gewisse Uebereinstimmung zwischen der Sauerstoffabsorption und der Exhalation der Kohlensäure ergibt, so ist dieses, wenn die Volummengen beider Gase selbst vollkommen dem Diffusionsgesetz entsprächen, doch ganz bestimmt auf andere Ursachen zurückzuführen und in Bezug auf das prätendirte Gesetz ganz zufällig.

III) Wie alle Flüssigkeiten, so hat auch das Blut die Eigenschaft, Gase absorbiren zu können. Diese Gasaufnahme ist aber kein rein physikalisches Phänomen, denn es ist unzweifelhaft, dass ein Theil der absorbirten Gase mit gewissen Bestandtheilen des Blutes chemische Verbindungen eingeht, wodurch die Verhältnisse des Blutes zu den bei der Respiration wirksamen Gase complicirter werden.

Die verschiedenen Gase werden in sehr ungleicher Menge von einer und derselben Flüssigkeit aufgenommen. So absorbirt nach *Saussure* bei 18° C.

| | 1 Volum luftleeres Wasser | 1 Volum luftleerer Alcohol von 0,84 sp. Gew. |
|---|---|---|
| kohlensaures Gas . . . . . | 1,06 | 1,86 |
| Sauerstoffgas . . . . . | 0,065 | 0,1625 |
| Stickgas . . . . . | 0,042 | 0,042 |

Ein Volum Serum des Menschenblutes absorbirt in 18 Stunden 1,07 Volumen Kohlensäure *(Jones)*; 1 Volum Ochsenblut 2,06 Vol. Kohlensäure *(Scherer)*. Ein Volum Blut absorbirt 0,057 bis 0,14 Volum Sauerstoff *(Christison)*, ja selbst 0,33 Volumen *(J. Davy)*. Diese Erfahrungen widersprechen bei näherer Prüfung im Allgemeinen unseren Kenntnissen über den Gasgehalt des Blutes weniger, als manche Physiologen annehmen wollen. Man darf jedoch von den wenigen, nach keinem bestimmten Plane durchgeführten Versuchen über die Gase des Blutes und über die Absorptionsfähigkeit, welche das Blut den verschiedenen Gasarten

gegenüber zeigt, Gegenstände, die erst durch eine grosse Reihe von mit den besten Hülfsmitteln angestellten Untersuchungen erledigt werden können, keine vollständige Aufklärung über alle hier vorkommenden Fragen verlangen.

Das durch die erwähnten Versuche mit luftleerem Wasser und mit Blutserum gefundene grosse Absorptionsvermögen dieser Flüssigkeiten für das kohlensaure Gas entspricht dem bedeutenden Kohlensäuregehalte des Blutes; da jedoch das lebendige Blut mit Kohlensäure lange nicht gesättigt ist und auch damit nicht gesättigt sein kann, wenn der Tod nicht sogleich erfolgen soll, so erklären sich die Differenzen zwischen der im Blute gefundenen Kohlensäuremenge und dem nach erfolgter Sättigung beobachteten Kohlensäuregehalte des Wassers und des Blutserums ganz genügend.

Die Sauerstoffquantität des Blutes fand *Magnus* viel geringer als dessen Kohlensäuremenge, indem nach seinen Beobachtungen beide Gase ungefähr in dem Verhältnisse von 1 : 3 zu einander stehen. Da jedoch ein Theil der Proteinsubstanzen des Blutes, wie *Mulder* gezeigt hat, sich mit dem Sauerstoffe chemisch (zu einem Proteinoxyde) verbindet, so dass erstere zum Theil Träger des inspirirten Sauerstoffes sind, so muss auch, weil durch das Schlagen des Blutes dieses Proteinoxyd vorher, zur Verhütung der Gerinnung, abgeschieden werden muss, wenn man die Gase aus dem Blut austreiben will, ein viel geringerer Sauerstoffgehalt des Blutes durch diese Experimente sich ergeben, als den inspirirten, bedeutenden Oxygenquantitäten entspricht. Da es ferner erwiesen ist, dass die Blutkörperchen zu dem Sauerstoff eine bedeutende Anziehung zeigen, unstreitig das Resultat chemischer Kräfte*), so erkennen wir in diesen beiden Thatsachen zwei grosse und mächtige *Hülfsmittel*, *wodurch die Aufnahme des Sauerstoffes in das Blut bewirkt wird, trotz der geringen Löslichkeit des Sauerstoffgases in dem Blutserum.*

Dem verhältnissmässig unbedeutenden Stickgasgehalte des

*) *Van Maack* fand, dass das Blutwasser sehr wenig Sauerstoff aufnimmt, dass aber 1 Volum Cruorlösung $^3/_5$ seines Volums an Sauerstoffgas absorbirt.

Blutes und der geringen Löslichkeit dieser, zu keinem Bestandtheile des Blutes eine chemische Verwandtschaft zeigenden und zur Excretion aus dem Organismus bestimmten Gasart entspricht endlich die kaum merkliche Vermehrung des Stickgasgehaltes der ausgeathmeten Luft, welche durch die zuverlässigsten neueren Beobachtungen in der That gefunden worden ist.

Die über die Löslichkeit der genannten Gase gemachten Beobachtungen geben uns, freilich nur annähernd, Aufschlüsse über die hier zu untersuchenden Fragen. So dürfen wir unter anderem nicht übersehen, dass die Körperwärme eine Abnahme der Absorptionsfähigkeit des Blutes für Gase bedingt und dass überhaupt die Verhältnisse, unter welchen die erwähnten Experimente über die Absorption der Gase mit aus der Ader gelassenem Blut angestellt wurden, von den Bedingungen, in denen sich das in den Gefässen circulirende Blut den Gasen gegenüber befindet, sehr verschieden sind. So müssen, um nur einen Punkt zu berühren, das Serum, ferner (nach Schlagen des Blutes) das Serum und die Blutkörperchen zusammen und endlich das unversehrte Blut, welches oxydable Stoffe in nicht unbeträchtlicher Quantität enthält, hinsichtlich ihrer Absorptionsfähigkeit für Gase die grössten Differenzen darbieten, so dass wir die Beobachtungen, welche an Blut ausserhalb des Körpers gemacht wurden, nur mit grösster Vorsicht auf die zum Theil verschiedenen Verhältnisse des in den Gefässen strömenden Blutes übertragen dürfen. *Bei der Gasabsorption des Blutes sind demnach chemische und physikalische Kräfte zugleich wirksam*, wesshalb nur ein, wenn auch sehr bedeutender, Theil der absorbirten Gase bloss einfach in dem Blute gelöst ist.

IV) Eine der wichtigsten Bedingungen für die Absorption der Gase ist der Druck, welchen die letzteren auf die absorbirende Flüssigkeit ausüben. Obgleich eine Flüssigkeit bei derselben Temperatur, möge sie einem starken oder einem schwachen Drucke von Seiten der Gase ausgesetzt sein, gleiche Volummengen Gase absorbirt, so wird doch, da die Gewichtsmengen der Gase den pressenden Kräften proportional sind, bei stärkerem Drucke eine viel grössere Gewichtsquantität von den Gasen absor-

birt, als bei schwächerem Drucke. Desshalb muss auch ein Theil der in der Flüssigkeit enthaltenen Gase, sowie sie einem geringeren Druck unterworfen ist, austreten.

Obschon das Blut immer noch mehr Gase absorbiren kann, als es deren wirklich enthält, so ist doch unter jedem Verhältniss eine so bedeutende Kohlensäurequantität in ihm befindlich, dass diese, wenn sie mit der Luft in den Lungenzellen in innigen Contakt kommt, zum Theil aus dem Blut austreten muss. Da zudem der Druck, unter welchem die in den Lungencapillaren strömenden Gase stehen, bedeutender ist als der Druck, unter welchem die in den Lungenzellen enthaltene Luft sich befindet, so ist dadurch ein weiteres, sehr wirksames Moment gegeben zur Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Blute.

Obgleich wir die auf die Aufnahme der Gase in's Blut wirkenden Einflüsse noch lange nicht genau genug kennen und namentlich noch nicht im Stande sind, sämmtliche in ihrer Wirkungsgrösse auf exakte Weise zu bestimmen, so dürfen wir doch einerseits die Hoffnung nicht aufgeben, durch zahlreiche und genaue Untersuchungen über den Einfluss der chemischen Beschaffenheit des Blutes auf die Gasabsorption desselben auch über diese Frage befriedigenden Aufschluss zu erhalten; sowie wir uns andererseits durch unser noch unvollkommenes Wissen nicht zu der falschen, jeden Fortschritt hemmenden, Ansicht verleiden lassen dürfen, dass hier noch ganz andere, als chemische und physikalische Kräfte wirksam seien, nämlich jene bequemen Lebenskräfte, durch die Mancher alles, ein gewissenhafter und denkender Forscher dagegen gar nichts erklären kann.

## Viertes Kapitel.

*Darstellung des Gesetzes, nach welchem das Austreten des kohlensauren Gases aus dem Blute in die Lungenzellen erfolgt.*

Vermittelst der Thatsachen, die ich im vierten Abschnitte aufgefunden habe, vor allem aber mittelst der über den Einfluss der Respirationsfrequenz auf den Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft gewonnenen Resultate, wird es nicht schwer werden, zu einer allgemeinen Erklärung des Gasaustausches zwischen den Lungenzellen und dem Blute zu gelangen und somit diejenige Frage, welche bei dem Studium der Respiration in vorderster Reihe uns entgegentritt, ohne deren Beantwortung kein sicherer Schritt weiter gemacht werden kann, befriedigend zu lösen.

Es fällt zunächst auf, dass die Quantität der in die Lungen geführten Luft auf die Ausscheidung der Kohlensäure den grössten Einfluss übt, eine Thatsache, die sich, je nach der Schwierigkeit der verschiedenen Untersuchungen, in mehr oder minder genauen Resultaten in sämmtlichen Experimentenreihen des vierten Abschnittes bestätigt. Je grösser das inspirirte Luftvolum, desto grösser ist auch die ausgeathmete Kohlensäuremenge, desto mehr aber nimmt das Verhältniss der Kohlensäure zu der überhaupt ausgeathmeten Luft ab. Unter allen Ansichten, welche sich aufdrängen können über die Ursache dieser Gesetzmässigkeit, ist mir gleich von vorne herein keine plausibler erschienen, als diejenige, welche in der Mischung der Luft in den Lungen den hauptsächlichsten Regulator des gegenseitigen Gasaustausches erblickt. Diese Theorie ist auch mit der *Dalton*'schen Lehre über die Verbreitung der Gase in einander in vollständigem Einklange. Doch wir wollen Thatsachen sprechen lassen und uns jedes Räsonnements enthalten.

Die folgende Tabelle, welche den Seite 114 mitgetheilten Erfahrungen entnommen ist, zeigt den Zusammenhang zwischen dem Kohlensäuregehalte der in den Lungen enthaltenen Luft und der Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Blute.

| a | b | c | d | e | f |
|---|---|---|---|---|---|
| Zahl der Ausathmungen in einer Minute | Kohlensäuregehalt einer normalen Exspiration in % | Kohlensäure, in 0,313 Sekunden aus dem Blute ausgeschieden. | Durch eine Exspiration gebildelte Kohlensäure. | Gesammter Kohlensäuregehalt der Lungen u. der Luftwege, in Kub. Cent. | |
| | | in Kubikcentimetern | | während der Exspiration *) | während der Inspiration |
| 192 | 2,6 | 13 | 13 | 80,0 | 67,0 |
| 96 | 2,7 | 6,75 | 13,5 | 82,4 | 68,9 |
| 48 | 2,9 | 3,625 | 14,5 | 87,2 | 72,7 |
| 24 | 3,3 | 2,0625 | 16,5 | 96,8 | 80,3 |
| 12 | 4,1 | 1,28125 | 20,5 | 116,0 | 95,5 |
| 6 | 5,7 | 0,890625 | 28,5 | 154.4 | 125,9 |

*) Die Lungen enthalten nach einer normalen Inspiration 2400 Kub. Cent. Luft. Für das, 500 Kub. Cent. betragende, Volum einer normalen Exspiration lässt sich aus Rubrik b der Tabelle die absolute Kohlensäuremenge berechnen. ($\alpha$ der nachstehenden Tabelle). Da durch eine möglichst starke Exspiration, nach einer vorhergegangenen normalen Inspiration, 1800 Kub. Cent. Luft ausgetrieben werden, so bleiben, wenn wir das 500 K. C. betragende Volum einer normalen Exspiration davon abziehen, noch 1300 K. C. übrig, deren Kohlensäuregehalt nach den Seite 134 gefundenen Thatsachen (in $\beta$) berechnet ist. Die Kohlensäurequantität der in den Lungen, selbst nach der stärksten Exspiration noch zurückbleibenden Luft, die wir übereinstimmend mit andern Physiologen im Mittel auf 600 K. C. anschlagen, ist nach der Seite 135 motivirten Annahme (in $\gamma$) berechnet. Wir erhalten demnach folgende Zahlen für den Kohlensäuregehalt der Lungen bei verschieden schnellem Athmen:

| | Zahl der Ausathmungen in einer Minute | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 192 | 96 | 48 | 24 | 12 | 6 |
| | Kohlensäuregehalt der Lungen in Kubikcentimetern | | | | | |
| $\alpha$ | 13,0 | 13,5 | 14,5 | 16,5 | 20,5 | 28,5 |
| $\beta$ | 44,2 | 45,5 | 48,1 | 53,3 | 63,7 | 84,5 |
| $\gamma$ | 22,8 | 23,4 | 24,6 | 27,0 | 31,8 | 41,4 |
| Gesammter Kohlensäuregehalt der Lungen | 80,0 | 82,4 | 87,2 | 96,8 | 116,0 | 154,4 |

*Es geht demnach als oberstes Gesetz hervor, dass die Quantität der beim Athmen aus dem Blut ausgeschiedenen Kohlensäure mit zunehmendem Kohlensäuregehalte der Lungen abnimmt.*

Dieser Schluss ergibt sich ganz einfach aus der voranstehenden Tabelle, obgleich die in derselben enthaltenen Experimente nicht direkt zur Lösung der uns jetzt beschäftigenden Frage angestellt wurden. Die Rubrik *d* enthält die durch eine Exspiration ausgeschiedene Kohlensäurequantität. Da aber die Dauer der Exspirationen in jener Tabelle verschieden ist, so können auch die durch Exspirationen von ungleicher Länge ausgeschiedenen Kohlensäurequantitäten für unsere gegenwärtige Betrachtung nicht mit einander verglichen werden. Wir haben desshalb die Aufgabe zu berechnen, wie sich bei der veschiedenen Athemfrequenz die Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Blute in *gleichen* Zeiten verhält. Gehen wir von der Dauer der kürzesten Exspiration aus (wovon 192 in einer Minute vollführt werden), welche nur 0,313 Sekunden währt, so ergibt sich, dass durch 96, 48, 24 u. s. w. in einer Minute vollführte Athemzüge, wobei also eine Athembewegung 0,61 . . . — 1,23 . . . — 2,46 . . . u. s. w. Sekunden dauert, während einer Zeit von nur 0,313 Sekunden bloss 6,75 — 3,625 — 2,0625 u. s. w. Kub. Cent. kohlensauren Gases aus dem Blute austreten, was in Rubrik *c* der Tabelle ausgeführt ist.

## Anhang.

Mit dem so eben aufgefundenen Resultate ist jedoch den Anforderungen einer exakten organischen Physik noch nicht genügt; wir haben desshalb die Aufgabe, die Abhängigkeit des Austretens des kohlensauren Gases aus dem Blute von dem Kohlensäuregehalte der Lungen ganz allgemein mittelst der Hülfsmittel der Analytik darzustellen.

---

Dieses ist demnach der Kohlensäuregehalt der Lungen während der Exspiration. Ziehen wir davon die durch eine Exspiration ausgeschiedene Kohlensäurequantität ab, so erhalten wir den Kohlensäuregehalt der Lungen während der Inspiration.

Wenn wir die Kohlensäurequantität, welche bei 192 in einer Minute vollführten Athemzügen in den Lungen enthalten ist, P nennen, so wird

$$\begin{aligned} 67{,}0 &= P \\ 68{,}9 &= P_1 = P + 1{,}9 \times 2^0 \\ 72{,}7 &= P_2 = P_1 + 1{,}9 \times 2^1 \\ 80{,}3 &= P_3 = P_2 + 1{,}9 \times 2^2 \\ &\vdots \qquad\qquad \vdots \end{aligned}$$

$$\text{I)} \quad P_n = P_{n-1} + 1{,}9 \times 2^{n-1}$$

Setzen wir die, 13 Kubikcentimeter betragende, Kohlensäuremenge $= Q$, welche (ebenfalls der erwähnten Tabelle zufolge) bei einer in den Lungen befindlichen Kohlensäurequantität von 67 K. C. in der Zeit von $^{313}/_{1000}$ Sekunden (als der Dauer der kürzesten Athembewegung) aus dem Blut austritt, so ergibt sich

$$13 = \frac{Q + 0{,}5\,(2^0 - 1)}{2^0} = Q$$

$$6{,}75 = \frac{Q + 0{,}5\,(2^1 - 1)}{2^1} = Q_1$$

$$3{,}625 = \frac{Q + 0{,}5\,(2^2 - 1)}{2^2} = Q_2$$

$$2{,}0625 = \frac{Q + 0{,}5\,(2^3 - 1)}{2^3} = Q_3$$

$$\vdots \qquad\qquad \vdots$$

$$\text{II)} \quad \frac{Q + 0{,}5\,(2^n - 1)}{2^n} = Q_n$$

Es ist aber

$$P_n = 1{,}9\,(2^{n-1} + 2^{n-2} + 2^{n-3} + \cdots + 2^1 + 2^0) + P$$

$$\text{III)} \quad P_n = 1{,}9\,(2^n - 1) + P.$$

Also ist, wenn der Kohlensäuregehalt der Lungen $= P + 1{,}9(2^n - 1)$ ist, die aus dem Blute austretende Kohlensäuremenge

$= \frac{Q + 0{,}5\,(2^n - 1)}{2^n}$; wenn $\frac{P}{Q}$ wenigstens annähernd $= \frac{67}{13}$ ist.

Wir haben nun einen allgemeinen Ausdruck zu suchen, der jede Kohlensäurequantität $Q_n$ angibt, welche bei verschiedenem Kohlensäuregehalte der Lungen aus dem Blute austritt.

Da nach III) $P_n = 1{,}9\ (2^n - 1) + P$

$$\text{so wird } 2^n = \frac{P_n - P + 1{,}9}{1{,}9}$$

$$\text{Nach II) ist } Q_n = \frac{Q + 0{,}5\ (2^n - 1)}{2^n}$$

$$= \frac{Q + 0{,}5\ \left(\frac{P_n - P + 1{,}9}{1{,}9} - 1\right)}{\frac{P_n - P + 1{,}9}{1{,}9}}$$

$$\text{IV)} = \frac{1{,}9\ Q + 0{,}5\ (P_n - P)}{P_n - P + 1{,}9}$$

Ist zum Beispiel $n = 5$, so ist

$$Q_5 = \frac{1{,}9 \cdot 13 + 0\,5\ (125{,}9 - 67{,}0)}{125{,}9 - 67{,}0 + 1{,}9}$$

$$= 0{,}890625$$

wie es unsere Tabelle verlangt.

Es kann demnach mittelst der Formel IV) die Kohlensäurequantität $Q_n$ leicht bestimmt werden, welche bei verschiedenem Kohlensäuregehalte der Lungen $P_n$ aus dem Blute ausgeschieden wird. Die Bedeutung von $P_n$ und von $Q_n$ erhellt aus der I) und II) der vorigen Seite.

Weniger wichtig ist die Herleitung der in den Lungen bei normalem Athmen enthaltenen Kohlensäurequantität aus der, aus dem Blute austretenden Kohlensäuremenge, obgleich ich nicht läugnen darf, dass auch diese Frage für die Physik der Respiration von praktischem Werthe werden kann. Da, nach IV,

$$Q_n = \frac{1{,}9\ Q + 0{,}5\ (P_n - P)}{P_n - P + 1{,}9}$$

$$\text{so wird V) } P_n = \frac{1{,}9\ (Q - Q_n) + P\ (Q_n - 0{,}5)}{Q_n - 0{,}5}$$

Aus der V) können demnach die Kohlensäurequantitäten berechnet werden, welche dem jeweiligen Kohlensäureverlust des Blutes entsprechend, in den Athemorganen vorhanden sind.

Ehe ich diesen Gegenstand beschliesse, muss ich noch bemerken, dass die oben aufgestellten Formeln bloss empirischer Natur sind; sie geben das Naturgesetz innerhalb gewisser Grenzen vollkommen richtig an und sind für die Physik des Athmens wie ich glaube um so brauchbarer, als die Grenzen, innerhalb welcher sie angewandt werden können, sich noch über diejenigen hinaus erstrecken, innerhalb welcher unsere Respiration sich bewegt.

Setzen wir aber $P_n = \frac{1}{\infty}$, nehmen wir also an, dass — was in der Natur freilich niemals vorkommen kann — die Lungen frei von aller Kohlensäure sind, so müsste ein Maximum der Kohlensäureausscheidung aus dem Blute erfolgen, was die Rechnung nicht ergibt. Dasselbe ist umgekehrt der Fall, wenn wir $Q_n = \frac{1}{\infty}$ setzen. Dieses bringt natürlich der Richtigkeit unserer Untersuchungen und der practischen Anwendbarkeit unserer Formel keinen Eintrag; es fehlt allerdings der ganz genaue Ausdruck für das oberste, das allgemeine Gesetz, nach welchem die Exhalation der Kohlensäure aus dem Blute sich richtet, eine Anforderung, die Niemand an den ersten Versuch einer Physik der Respiration stellen wird, der mit der Natur dieser Untersuchungen auch nur einigermaassen vertraut ist. Ich weiss namentlich recht wohl, dass ich den obigen Untersuchungen durch Einführung der in einer bestimmten Zeit durch die Lungencapillaren fliessenden Kohlensäure eine viel allgemeinere Bedeutung hätte geben können, wenn dabei nicht zu befürchten wäre, dass der ganzen Darstellung durch Hereinziehen eines lange noch nicht genau genug eruirten Gegenstandes geschadet würde.

Zweitens darf ich nicht übergehen, dass meine Annahme über den Luftgehalt der Lungen bloss annähernd wahr ist, dass also sämmtliche Zahlen der Rubriken e und f der in diesem Kapitel mitgetheilten Tabelle nicht auf vollkommene Genauigkeit Anspruch machen können; aber auch dieses schadet unserer Untersuchung

nicht, da es ja nur auf die gegenseitigen Verhältnisse der einzelnen Glieder der genannten Rubriken ankommt, Verhältnisse, deren Wahrheit durch viele Experimente erwiesen ist.

Da auf den Kohlensäuregehalt der Lungen noch andere Momente von Einfluss sind, welche wir in gegenwärtiger Untersuchung als durchaus constant annehmen mussten, sodass wir von ihnen vorläufig abstrahiren konnten, so versteht es sich, dass die Rubriken e und f unserer Tabelle Veränderungen erleiden können; immer haben aber die letzteren gleichzeitig Veränderungen in den Werthen der Rubrik c zur Folge, d. h. einer stärkeren Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Blute entspricht ein grösserer Reichthum der Lungen an Kohlensäure.

Schliesslich muss ich noch bemerken, dass die in diesem Kapitel aufgefundenen Thatsachen hinsichtlich der denselben zu Grunde liegenden Idee eine ganz allgemeine Gültigkeit haben, dass aber die specielle Durchführung sich nur auf die Verhältnisse der normalen Respiration bezieht, insofern bei letzterer der Kohlensäuregehalt der Luft in den oberen Partheien der Lungen abnimmt, ein Moment, dessen grosse Wichtigkeit für den Gaswechsel bei der Respiration das folgende Kapitel darstellen wird.

---

## Fünftes Kapitel.

*Ueber die Bedeutung der Athembewegungen bei dem respiratorischen Processe.*

In dem vorigen Kapitel haben wir erfahren, in welcher Weise der Austausch der Gase zwischen den Lungenzellen und dem Blute vor sich geht; wir haben uns überzeugt, dass hier zunächst der Kohlensäuregehalt der in den Lungen befindlichen Luft maassgebend ist. Man sieht demnach leicht ein, dass der gegenseitige Gasaustausch zwischen dem Blute und den Lungen nach dem einfachen Gesetze von Statten geht, nach welchem überhaupt die Verbreitung der Gase in einander erfolgt, und dass die im Ver-

hältnisse zu dem Kohlensäuregehalte des Blutes geringe Kohlensäurequantität der Lungenzellen für sich allein schon hinreichende Ursache ist, dass die Lungen sich mit mehr Kohlensäure füllen.

Dieses Princip ist aber lange nicht ausreichend, wenn es gilt, den Gaswechsel zwischen den Lungen und der atmosphärischen Luft zu reguliren, wovon uns schon eine einfache Betrachtung der Organologie der Athemwerkzeuge überzeugen muss. Während nämlich die feinen Lungenzellen eine ungemein grosse Oberfläche darstellen für den gegenseitigen Austausch zwischen den Gasen des Blutes und der in den Lungenzellen enthaltenen Luft, bietet die Mund- und Nasenhöhle nur eine sehr enge und beschränkte Communikation der Luftwege mit der atmosphärischen Luft dar. Da es nun klar ist, dass die Menge des zu einer gewissen Zeit aus dem Blute in die Lungenzellen ausgeschiedenen kohlensauren Gases der, durch die Nase und den Mund in der nämlichen Zeit austretenden Kohlensäuremenge vollkommen gleich sein muss, wenn der Organismus nicht alsbald in Stockung gerathen soll, so muss auch der Contakt der in den oberen Parthieen der Respirationsorgane enthaltenen Luft mit der Atmosphäre vermehrt werden. Diese Bedingung wird durch die Respirationsbewegungen erfüllt; das durch jede Exspiration ausgeschiedene Luftvolum ist der Träger einer gewissen Quantität von Kohlensäure.

Untersuchen wir nun, wie der Gaswechsel zwischen den Lungen und der atmosphärischen Luft sich verhalten würde, wenn die Athembewegungen nicht zu Hülfe kämen. Die an Kohlensäure sehr reiche Luft der Lungenzellen hätte schon in wenigen Momenten den grössten Theil ihres Ueberschusses an diesem Gase in die oberen Schichten der Athemorgane abgegeben, welche, wie ich durch das Experiment gezeigt habe *), viel weniger Kohlensäure halten, als die tieferen, so dass beide Gasgemische nothwendig das Bestreben zeigen müssen, hinsichtlich ihrer Mischung in's Gleichgewicht zu kommen. Der Contakt der in den oberen Parthieen der Respirationsorgane enthaltenen Gase mit der atmosphärischen Luft ist aber verhältnissmässig sehr beschränkt; es kann

*) Seite 131 u. s. w.

desshalb auch nur ein sehr kleiner Theil des daselbst befindlichen kohlensauren Gases in die Atmosphäre entweichen und an dessen Stelle Sauerstoffgas eintreten. Das durch die Lungencapillaren fliessende Blut exhalirt aber beständig neue Quantitäten von Kohlensäure in die Lungenzellen, welche Ausscheidung jedoch, theils wegen des zunehmenden Kohlensäuregehaltes der Lungenzellen, theils auch desshalb sehr schnell auf ein Minimum herabsinkt, weil der Kohlensäuregehalt der in den verschiedenen Parthieen der Respirationsorgane enthaltenen Luft bei Hemmung der Athembewegungen, wie unsere Experimente bewiesen haben *), bald nur höchst geringe Differenzen zeigt. Letzterer Umstand muss natürlich zur Folge haben, dass die in den tieferen Parthieen der Lungen enthaltene Kohlensäure ein geringeres Bestreben zeigt, in die grösseren Luftführenden Gefässe zu entweichen, da die letzteren hinsichtlich ihres Kohlensäuregehaltes den feineren Bronchialverzweigungen fast das Gleichgewicht halten. Es tritt desshalb bei gehemmten Athembewegungen viel weniger Kohlensäure aus dem Blute in die Lungen, als dem Respirationsbedürfnisse entspricht; es muss Athemnoth und sehr schnell der Tod erfolgen.

Der Tod durch einen heftigen Brustkrampf (Tetanus der Brustmuskeln), so wie derjenige durch Erdrücken, beim Zusammenflusse vieler, dicht bei einander stehender, Menschen erfolgt z. B. auf diese Weise; die Respirationsbewegungen können nicht vollführt werden und trotz dem, dass durch Mund und Nase die Communikation zwischen der atmosphärischen Luft und den Lungen noch offen ist, muss bei der Unmöglichkeit, die In- und Exspirationsbewegungen zu vollführen, eine so bedeutende Zunahme des Kohlensäuregehaltes der Lungen erfolgen, dass nur noch wenig Kohlensäure aus dem Blute austreten kann, wodurch die Respiration aufgehoben wird. Bei den Winterschläfern bemerkt man, wenn ihr lethargischer Zustand in der grössten Kälte den höchsten Grad erreicht hat, keine Athembewegungen; der höchst geringe Gaswechsel wird bei ihnen durch den Akt der Diffusion hinreichend vermittelt.

---

*) Seite 147.

Ueber die Art der Wirksamkeit der Respirationsbewegungen bei der Ausscheidung der Kohlensäure kann demnach kein Zweifel mehr sein. Indem immer neue Quantitäten von atmosphärischer Luft durch die Inspirationen in die oberen Parthieen der Athemorgane eingeführt werden, ist der in den Lungen enthaltenen, mit Kohlensäure stark erfüllten Luft die Möglichkeit gegeben, einen Theil ihres Ueberschusses an diesem Gase der in den oberen Parthieen der Athemwerkzeuge befindlichen Luft abzugeben, welche letztere durch die nachfolgende Exspiration sodann ausgetrieben wird.

Wir erblicken somit in den abwechselnden Erweiterungen und Verengerungen des Brustkorbes ein höchst einfaches und wirksames Mittel, wodurch die Natur die Ausscheidung der Kohlensäure aus den Lungen bewerkstelligt. Nur dadurch ist es möglich gewesen, den respiratorischen Apparat in der compendiösen Form zu bilden, in welcher wir ihn, trotz der höchst energischen und niemals stille stehenden Funktionen, denen derselbe als Träger dienen muss, bei den höheren Thieren erblicken.

Je schneller die Respirationen auf einander folgen und je tiefer dieselben sind, oder mit andern Worten, je grösser die Quantität der in die Athemwerkzeuge eingeführten atmosphärischen Luft ist, um so leichter ist auch der Contakt des in den tieferen Parthieen der Lungen enthaltenen Gasgemisches mit der atmosphärischen Luft, wesshalb auch die (absolute) Menge des austretenden kohlensauren Gases der Menge der eingeführten atmosphärischen Luft entsprechend zunehmen muss. Die Tabelle VI Seite 116 zeigt die Abhängigkeit der Ausscheidung des kohlensauren Gases von den Quantitäten der in die Respirationsorgane aufgenommenen Luft; dasselbe bemerkten wir in den Experimenten des 2ten Kapitels des 4ten Abschnittes, indem um so mehr Kohlensäure ausgeschieden wird, je tiefer die Athembewegungen sind.

Der Gaswechsel zwischen dem Blute und der atmosphärischen Luft wäre aber nicht möglich, oder doch höchst beschränkt und zur Unterhaltung des Lebens nicht ausreichend, wenn die in den feineren Bronchialverzweigungen enthaltene Luft nicht viel reicher an Kohlensäure wäre, als die in den grösseren Verzweigungen der Luftröhre enthaltenen Gase. Dadurch wird, wie schon ausge-

führt wurde, der beständige Gasaustausch zwischen der in den Lungenzellen und der in den grösseren Luftröhrenästen enthaltenen Luft bedingt.

Es sind also zwei Momente wirksam bei der Ausführung der Kohlensäure aus den Lungen: 1) der stärkere Kohlensäuregehalt der in den tieferen Schichten der Lungen enthaltenen Luft, wodurch in derselben das Bestreben entsteht, sich hinsichtlich ihrer Mischung mit den oberen Schichten in's Gleichgewicht zu setzen; 2) die Exspirationsbewegungen, wodurch die in den oberen Partheien der Athemorgane enthaltene Luft ausgestossen wird.

Schon oben *) habe ich eine Vergleichung angestellt über die Wirksamkeit der Tiefe und der Dauer der Athembewegungen hinsichtlich der Ausführung der Kohlensäure, wobei sich ergab, dass gleiche Luftvolumina, mögen dieselben durch frequente aber weniger tiefe, oder durch tiefe, aber langsame Exspirationen ausgeschieden werden, annäherd gleiche Kohlensäurequantitäten mit sich führen. Was also durch das eine Moment verloren geht, wird auf dem andern Wege wieder ersetzt. Doch fällt hier eine merkwürdige Verschiedenheit auf; wenn auch in allen Fällen einem vermehrten Athmungsbedürfnisse durch gleichzeitige Zunahme der Frequenz und der Tiefe der Exspirationen entsprochen wird, so erfolgt diese Zunahme aber in ungleichem Grade, indem unter verschiedenen Umständen bald mehr die Frequenz, bald mehr die Grösse der Exspirationen eine Verstärkung zeigt. Während bei der Verdauung der stärkere Gaswechsel besonders durch *häufigere Exspirationen*, deren Grösse jedoch verhältnissmässig nur wenig zugenommen hat, vermittelt wird, bringt die Temperaturabnahme umgekehrt eine bedeutende Vergrösserung der *Tiefe der Exspirationen* zu Stande, während ihr Einfluss auf die Frequenz derselben minder stark ist; die Verschiedenheiten in der atmosphärischen Pression zeigen eine ganz auffallende und unläugbare Wirkung auf die *Respirationsfrequenz*, während sie auf die Volumverhältnisse der Exspirationen gar keinen Einfluss auszuüben scheinen. **)

---

*) Seite 126.

**) Das Nähere wolle in den betreffenden Kapiteln nachgesehen werden.

Eine Erklärung dieser Thatsachen ist gegenwärtig noch nicht möglich; ich glaube jedoch, die Verhältnisse der Frequenz und Tiefe der Athembewegungen bei der Verdauung genügend erörtert zu haben. *) Die Wissenschaft kann die Frage nach den Ursachen der Rhythmik der Athembewegungen nicht bei Seite liegen lassen, da sie von grosser Wichtigkeit für die Theorie der Respiration ist und bei einem genügenden empirischen Materiale ohne Zweifel vollständig gelöst werden kann.

Mit dem Studium des Einflusses der Dauer und der Tiefe der Athembewegungen auf die Ausscheidung der Kohlensäure sind jedoch erst die beiden wichtigsten, bei der Rhythmik der Respirationsbewegungen in Betrachtung kommenden Momente erledigt. Das gegenseitige Verhältniss, in welchem die In- und Exspirationen hinsichtlich ihrer Dauer zu einander stehen, muss auf die Ausscheidung der Kohlensäure von, wahrscheinlich jedoch nicht sehr bedeutendem, Einflusse sein. Endlich zeigt die Excretion dieses Gases ohne Zweifel in den einzelnen Theilen der Lungen Verschiedenheiten. Bei der Betrachtung der Ausdehnung des Brustkorbes bei verschiedenen Menschen und unter verschiedenen physiologischen und pathischen Verhältnissen, ergeben sich die grössten und auffallendsten Differenzen; schon längst unterscheidet, um nur ein Beispiel anzuführen, der Pathologe die Athembewegungen, je nachdem dabei mehr die unteren oder die oberen Rippen in Anspruch genommen werden. Der Kohlensäuregehalt des oberen Lungenlappens muss nothwendig von demjenigen des unteren Verschiedenheiten zeigen, da es bekannt ist, dass die Lungenzellen des oberen Lappens im Verhältnisse zu denen des unteren weniger stark ausgedehnt werden und demnach geringere Luftquantitäten halten; wir dürfen daraus vielleicht auf einen stärkeren Stoffwechsel in der Basis der Lungen schliessen. Damit steht ohne Zweifel die von der pathologischen Anatomie vielfach nachgewiesene Thatsache in Verbindung, dass die verschiedenen pathischen Prozesse zu den verschiedenen Lokalitäten der Lungen ganz auffallende Beziehungen zeigen; so ist z. B. der Ausgangspunkt der Tuberku-

*) Seite 69.

lose in der Regel die Spitze der Lungen, die (croupöse) Pneumonie kommt vorzugsweise in dem unteren Lappen vor. *)

Manche Physiologen haben sich über die Art und Weise, wie die Erneuerung der Luft in den Lungen erfolgt, unrichtige Vorstellungen gemacht und angenommen, dass die eingeathmete Luft bis in die Lungenzellen dringe. Der grösste Theil der so eben inspirirten Luft verbleibt aber in den oberen Parthieen der Luftwege, er nimmt eine gewisse Menge Kohlensäure aus den tieferen Bronchialverzweigungen auf und giebt, da der Sauerstoffgehalt der letzteren etwas geringer ist, einen Theil seines Sauerstoffes an dieselben ab; durch die nächstfolgende Inspiration wird sodann fast alle, kurz vorher eingeathmete Luft wieder ausgestossen. Der procentige Kohlensäurewerth giebt fast ganz genau das Verhältniss an, wieviel von der inspirirten Luft durch die nächstfolgende Exspiration nicht wieder ausgeathmet wird. Es gelangt somit immer nur eine verhältnissmässig geringe Quantität von der inspirirten Luft in die Lungenzellen und in das Blut.

---

*) Es sei mir erlaubt, hier eine kurze Bemerkung über die Tuberkulose einzuschalten. Es ist bekannt, dass der hauptsächlichste Charakter des phthisischen Habitus in einem zu schmalen Thorax besteht, in einer wahren Insufficienz der Lungen für das Athembedürfniss, wovon die bedeutende Respirationsfrequenz, welche wir an Individuen mit tuberkulöser Anlage wahrnehmen, eine nothwendige Folge ist. Da in der kalten Jahrszeit das Respirationsbedürfniss bedeutend stärker ist, als während der wärmeren, so muss in der Kälte die Ausscheidung der Kohlensäure grössere Hindernisse erfahren und der Phthisiker sich übler befinden. Da ferner der Stoffwechsel in der Spitze der Lungen höchst wahrscheinlich am geringsten ist, so lässt sich daraus einsehen, warum diese Lokalität den Ausgangspunkt der tuberkulösen Lungenphthise darstellt. Diese beiden, von ganz verschiedenen Erfahrungen entnommenen Thatsachen sind vielleicht für die alte Hypothese eine Stütze, dass die Ursache der Tuberkulose in einem im Vergleiche zu der Grösse der Lungen zu starken Respirationsbedürfnisse des Organismus bestehe, eine Ansicht, welche in dieser allgemeinen Fassung an sich zwar noch nicht von praktischem Werthe, wohl aber geeignet ist, zur Erforschung einiger Fragen aufzufordern, die für die Entstehung der genannten Krankheit gewiss von Wichtigkeit sind.

Zum Schlusse dieses Kapitels erwähne ich noch eines Experimentes, welches ich anstellte, um mich zu überzeugen, ob auch ohne die Athembewegungen wenigstens ein Theil des in den Lungen enthaltenen kohlensauren Gases ausgeschieden werden könne. Beobachtung 348 ergab $10^h$ 27′ — 4,80% Kohlensäure in der exspirirten Luft. Ich füllte darauf, Exper. 348, a. um $11^h$ 37′ den Exspirator zur Hälfte mit atmosphärischer Luft deren Quantität gegen 5000 Kub. Cent. betrug, und nahm das Mundstück des Exspirators in den Mund, wobei ich mich sorgfältig hütete, auch nur die geringste Exspirationsbewegung zu machen. Wegen der bald eintretenden Athemnoth musste ich den Hahnen schliessen und Luft schöpfen. Nachdem das erwähnte Verfahren mehrmals wiederholt worden war, fand ich 1,04% Kohlensäure in der Luft des Exspirators. *Dieses Experiment beweisst demnach, dass auch ohne die Athembewegungen kohlensaures Gas aus den Lungen, bloss vermöge des Principes der Diffusion der Gase, ausgeschieden werden kann.* Die auf diese Weise abgeschiedene Kohlensäure betrug bloss 25,40 Kub. Cent., während welcher Zeit, da der Versuch etwa 2 Minuten dauerte, durch normales Athmen 718 Kub. Cent., also eine ungefähr 28 mal grössere Quantität von Kohlensäure ausgeschieden worden wäre.

---

## Sechstes Kapitel.

### *Ueber den Einfluss des Blutes auf die Ausscheidung der Kohlensäure.*

Wir gehen nun zu dem zweiten, die Ausathmung der Kohlensäure bestimmenden Momente über, nämlich zu dem Blute. Wenn uns die vorhergehenden Kapitel belehrt haben, dass die inspirirten Luftquantitäten von grösstem Einflusse sind, so ist nichts natürlicher als der Schluss, dass auch die durch die Lungencapillaren fliessende Menge kohlensauren Gases eine ähnliche Wirkung ausüben muss.

Die Quantitäten des während einer bestimmten Zeit durch die Lungencapillaren strömenden kohlensauren Gases sind aber verschieden 1) nach dem Kohlensäuregehalte des Blutes, 2) nach der Zahl der Pulsschläge, und 3) nach der in dem Körper enthaltenen Blutmenge. Wenn wir auch über diese Fragen, in welche der in diesem Kapitel zu untersuchende Gegenstand nothwendig zerfallen muss, keine direkten Experimente angestellt haben und überhaupt anstellen konnten, so sind doch die Beobachtungen über die in der exspirirten Luft befindlichen Quantitäten von Kohlensäure und die in den vorhergehenden Kapiteln über die Art und Weise des bei der Respiration stattfindenden Gaswechsels aufgefundenen Thatsachen, wie ich glaube, vollkommen geeignet, wenigstens die erste Frage befriedigend zu lösen.

Der *Gasgehalt des Blutes* bietet grosse Verschiedenheiten dar, was in einem organischen Gebilde wie das Blut, in welchem die quantitativen Verhältnisse sämmtlicher Bestandtheile, selbst innerhalb der Zustände des gesunden Lebens, mehr oder minder grosse Schwankungen zeigen, gar nicht anders möglich ist. Der Gehalt des Blutes an kohlensaurem Gase muss nothwendig auf die Ausscheidung des letzteren in die Lungenzellen von grossem Einflusse sein. Ein Blick auf meine Versuchsreihe zeigt, dass der Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft grossen Schwankungen unterworfen ist, welche durch die, verhältnissmässig geringen, Differenzen in der Frequenz und Tiefe der Ausathmungen lange nicht bewirkt werden können. Wir setzen uns dabei der Gefahr nicht aus, den Einfluss der Athembewegungen zu überschätzen oder zu wenig zu achten, da wir dahin gelangt sind, denselben mit mathematischer Schärfe bestimmen zu können. Es bleiben aber noch immer in den einzelnen Beobachtungen grosse Differenzen in dem Kohlensäuregehalte der exspirirten Luft übrig, welche von andern Momenten, als den erwähnten abhängen müssen.

Die Annahme, dass eine Vermehrung der Kohlensäure im Blute eine verstärkte Ausscheidung dieses Gases in die Lungen zur Folge hat, darf uns aber in dieser allgemeinen Form nicht befriedigen und wir müssen das gegenseitige Verhältniss beider Momente genau zu ermitteln suchen.

Zuerst tritt uns die Frage entgegen, ob bei zunehmendem Kohlensäuregehalte des Blutes die Ausscheidung dieses Gases aus dem Blute in die Lungen auf eine, der im Blute stattgefundenen Vermehrung der Kohlensäure entsprechende Weise erfolgt, oder ob bei geringerem Kohlensäuregehalte des Blutes verhältnissmässig mehr Kohlensäure entweichen kann, als wenn das Blut reicher an Gasen ist. Denken wir uns nun, die Kohlensäure im Blute werde plötzlich vermehrt, so kann im Allgemeinen nicht geläugnet werden, dass eine grössere Menge von diesem Gase aus dem Blute in die Lungen abgeschieden werden muss, als es vorher, bei geringerem Gasgehalte des Blutes der Fall war. Die in den tieferen Parthieen der Lungen jetzt enthaltene grössere Quantität von kohlensaurem Gase muss sodann, da die in den grösseren Bronchialästen und in der Luftröhre befindliche Luft ärmer ist an dem genannten Gase, an die letztere ihren Ueberschuss abgeben. Wie gross oder gering die in der exspirirten Luft, oder, wass dasselbe ist, die in den oberen Theilen der Athemorgane befindliche Quantität von kohlensaurem Gase sein mag, so ist doch beim normalen Athmen die Kohlensäure in den tieferen Parthieen der Lungen bedeutender und zwar, was sehr merkwürdig ist, um eine unter allen Umständen stets gleichbleibende Grösse, indem sich in den feinsten Lungenzellen immer etwa 1,2% mehr Kohlensäure befindet, als in den oberen Schichten der Athemorgane. Desshalb muss auch unter allen Umständen das in den tieferen Luftschichten der Lungen enthaltene kohlensaure Gas das Bestreben zeigen, zum Theile in die grösseren Bronchialäste zu entweichen, so dass mittelbar die Ausführung der Kohlensäure aus dem Blute in die Lungenzellen durchaus ohne alle Hindernisse vor sich geht. *Es ist im höchsten Grade wahrscheinlich, dass die Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Blute, unter sonst gleichen Bedingungen, dem Kohlensäuregehalte des Blutes proportional ist.* Bei doppelt so grossem Kohlensäuregehalte des Blutes nimmt die in die Lungen austretende Kohlensäure ebenfalls um das Doppelte zu.

Ich darf jedoch nicht übergehen, dass vielleicht folgendes Moment der eben aufgestellten Funktionsweise eine, wenn auch nur geringe, Modification zu geben vermag. Da die in den tieferen

Schichten der Athemorgane enthaltene Luft immer um etwa 1,2% reicher an Kohlensäure ist, als das exspirirte Luftvolum, so beträgt, wenn die Kohlensäure des letzteren auf das Minimum, auf 3,3% gesunken oder auf das Maximum, 6,2% gestiegen ist, der Kohlensäuregehalt der untersten Parthieen der Lungen im ersteren Falle 4,5%, im zweiten 7,4%. Daraus geht hervor, dass die in den untersten Schichten der Athemorgane enthaltene Kohlensäure zu der, in den obersten befindlichen beim geringsten Kohlensäuregehalte der Lungen wie 100 : 73, dagegen beim stärksten Kohlensäuregehalte der Lungen bloss wie 100 : 84 sich verhält, so dass im letzteren Falle nach dem im vorigen Kapitel aufgefundenen Gesetze, die in den tieferen Schichten der Lungen enthaltene Luft ein etwas geringeres Bestreben zeigen muss, sich mit der in den grösseren Bronchialästen befindlichen Luft in's Gleichgewicht zu setzen, als dieses bei geringerem Kohlensäuregehalte der Lungen, bei welchem der Kohlensäuregehalt der tieferen Luftschichten verhältnissmässig stärker ist, der Fall ist. Um nicht zu weitläufig zu werden, muss ich einige andere Momente, welche diese Störung höchst wahrscheinlich wieder ausgleichen, um so eher übergehen als ich dieselben nicht quantitativ bestimmen kann. Alle Gründe sprechen jedoch dafür, dass unsere Annahme über die Abhängigkeit der exspirirten Kohlensäure von dem Kohlensäuregehalte des Blutes von der Wahrheit gewiss um sehr Weniges entfernt ist.

Unsere Analysen über den Kohlensäuregehalt der exspirirten Luft ergeben eine Differenz von etwa 3%, was — wenn wir von allen anderen, bei der Ausscheidung der Kohlensäure wirksamen und in der That verhältnissmässig unbedeutenden, Momenten abstrahiren — darauf hindeutet, dass der Kohlensäuregehalt des Blutes, selbst im Zustande der Gesundheit, ziemlich bedeutend variiren kann, indem sich das Minimum zu dem Maximum ungefähr wie 1 : 2 verhält, ein Verhältniss, für welches die Analysen der übrigen Bestandtheile des Blutes die übereinstimmendsten Analogieen bieten.

Wenn obige, aus Beobachtungen und Versuchen gezogenen Schlüsse noch nicht überzeugend sein sollten, so ist vielleicht folgende Betrachtung geeignet, etwaige Zweifel zu beseitigen, indem wir die Vorgänge untersuchen, welche nothwendig eintreten müs-

sen, wenn bei zunehmendem Kohlensäuregehalte des Blutes die Ausscheidung dieses Gases in die Lungen nicht in dem oben entwickelten Verhältnisse, sondern mit beträchtlich geringerer Energie erfolgen würde. Wenn eine Vermehrung des Kohlensäuregehaltes des Blutes eine stärkere Ausscheidung dieses, den Zwecken der Organisation nicht mehr dienenden Excretionsstoffes bedingt, so müsste, wenn der von uns angenommene Fall wirklich einträte, und somit der Excretion dieses Gases Hindernisse in den Weg treten würden, der stärkeren Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Blute durch andere Mittel genügt werden; es müsste nämlich die Tiefe und die Frequenz der Athembewegungen eine bedeutende Steigerung erfahren. Obwohl die Athembewegungen willkührlich ungemein vermehrt werden können, so geht doch aus der Versuchsreihe des zweiten Abschnittes hervor, dass die Zahl und Tiefe der Respirationen in den verschiedenen physiologischen Zuständen verhältnissmässig nicht sehr bedeutenden Veränderungen unterworfen ist, obwohl das Respirationsbedürfniss, das heisst die Menge der in einer gewissen Zeit ausgeschiedenen Kohlensäure, ungemein grosse Verschiedenheiten zeigt.

Wenn nun z. B., um zwei ganz extreme, höchst selten vorkommende Fälle anzunehmen, die, bei dem Kohlensäuregehalte n des Blutes, in einer Minute durch 12 Exspirationen von je 500 Kub. Cent. exhalirte Quantität von kohlensaurem Gase sich auf nur 200 Kub. Cent. beläuft, so müssen, unter sonst gleichen Verhältnissen, bei dem Kohlensäuregehalte 2 n des Blutes 400 Kub. Cent. Kohlensäure ausgeschieden werden. Während in dem ersten Falle in 1 Minute 6000 Kub. Cent. Luft 200 Kub. Cent. Kohlensäure, also 100 Raumtheile exspirirter Luft 3,33 % von diesem Gase enthalten, befindet sich, wenn die Tiefe und Frequenz der Respirationen gleich bleiben, in dem zweiten Falle in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft 6,66 % kohlensaures Gas. Dieser Vermehrung in der Ausscheidung der Kohlensäure könnte zwar auch durch eine stärkere Respirationsfrequenz entsprochen werden; eine solche würde aber eine nicht unbeträchtliche Anstrengung der die Athembewegungen vollführenden Muskeln zur Folge haben, was die Natur zu vermeiden scheint, da, wie schon bemerkt, die Variationen in der Respirationsfrequenz verhältniss-

mässig gering sind. Ausserdem würde der Wärmeverlust durch die Vermehrung der Exspirationen sehr gesteigert werden, ein Gegenstand, welchen ich im zehnten Kapitel näher untersuchen werde.

Es erspart also dadurch, dass eine dem zunehmenden Kohlensäuregehalte des Blutes entsprechende Vermehrung der Ausscheidung der Kohlensäure in die Lungen möglich ist, der Körper einen beträchtlichen Verlust von Kraft und von Wärme. —

Die Vermehrung der *Pulsschläge* bewirkt offenbar im Allgemeinen denselben Effekt hinsichtlich der Ausscheidung der Kohlensäure, den eine Verstärkung der Respirationsfrequenz zur Folge hat. In beiden Fällen ist nämlich der Contakt des Blutes und der in den Lungen enthaltenen Luft vermehrt, worauf sogleich — wie wir uns hinsichtlich der Athembewegungen durch direkte Experimente überzeugt haben — eine stärkere Ausscheidung der Kohlensäure erfolgt.

Mit zunehmender Pulsfrequenz muss (unter sonst gleichen Umständen) die in einer bestimmten Zeit durch die Lungencapillaren strömende Kohlensäurequantität wachsen, und zwar in einem der Pulsfrequenz proportionalen Verhältnisse. Wenn nun z. B. bei einer Pulsfrequenz von 70 Schlägen in einer Minute eine gewisse Menge von Kohlensäure in die Lungen ausgeschieden wird, so muss, wenn der Puls eine Beschleunigung erfährt und z B. auf 80 steigt, ausser derjenigen Quantität von Kohlensäure, welche von der mittelst der 70 ersten Herzkontraktionen durch die Lungencapillaren getriebenen Kohlensäure abgeschieden wird, in Folge der Zunahme der Pulsschläge noch eine weitere Quantität von Kohlensäure aus dem Blut austreten. Da nun unter dieser Voraussetzung die Lungen zu Anfang des 71ten Pulsschlages gerade so viel Kohlensäure enthalten, als bei der vorhin angenommenen langsameren Pulsfrequenz zu Ende des 70ten Pulsschlages, d. h. zu Ende der Minute, so kann auch von der durch den 71ten bis 80ten Pulsschlag durch die Lungencapillaren getriebenen Kohlensäure natürlich weniger ausgeschieden werden, weil nämlich der Kohlensäuregehalt der Lungen grösser wird. Die unter diesen Verhältnissen austretenden Kohlensäurequantitäten können wir mittelst der im 5ten Kapitel aufgestellten Formel genau berechnen.

Wir wären demnach im Stande, den Einfluss der Pulsfrequenz auf die Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Blute mathema-

tisch genau darzustellen, wenn wir die Frage erledigen könnten, ob die Schnelligkeit, mit welcher das Blut durch die Lungenkapillaren circulirt, auf die Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Blute von Einfluss ist. Da in den Haargefässen der Lungen, wie überhaupt im gesammten Capillarsystem, eine auffallende Verlangsamung der Blutcirculation eintritt, was zu den Processen des Stoffwechsels in enger Beziehung steht, so dürfen wir bei der vorliegenden Untersuchung die Frage nicht unbeachtet lassen, ob die quantitativen Verhältnisse des Stoffwandels von der verschiedenen Zeitdauer abhängig sind, während welcher das Blutmolekül im Capillarsysteme den Wirkungen der Exosmose und der Diffusion ausgesetzt ist. Möglicherweise sind jedoch die Schwankungen in der Pulsfrequenz, wenigstens innerhalb gewisser die Norm bezeichnenden Grenzen, von nicht sehr bedeutendem Einflusse auf die, die Exosmose bestimmenden physicalischen Momente. Da jedoch Untersuchungen hierüber noch fehlen, so wollen wir in diese, für den gesammten Stoffwechsel so ungemein wichtige Frage gegenwärtig lieber nicht weiter eingehen, als dass wir uns der Gefahr aussetzen, durch Aufstellung einer nicht vollständig ausser Zweifel gesetzten Formel der nach rein mechanischen Principien versuchten Durchführung unseres Gegenstandes zu schaden. Diese Untersuchung, so wie die Frage über den *Einfluss der Blutmenge des Körpers auf die Ausscheidung der Kohlensäure* ist übrigens, wie man leicht sieht, der völligen Lösung ganz nahe, so dass uns alsdann kein Moment fehlen wird zur exakten Kenntniss sämmtlicher Vorgänge, welche beim Gaswechsel, diesem fundamentalen Phänomene der Respiration, in Betrachtung kommen. Ich glaube das um so eher hervorheben zu müssen, als wir darin einen deutlichen Beweis erblicken, dass auch in der Physiologie — wie es in den exakten Naturwissenschaften schon längst der Brauch ist — eine Menge von Fragen vollkommen genau gelöst werden können, ohne dass man über dieselben besondere Untersuchungen anstellen muss, ja sogar, ohne dass man diese zum Gegenstand des direkten Experimentes oder der unmittelbaren Beobachtung machen kann, und dass man nicht, wie es manchmal geschieht, ein wesentliches Hinderniss für das Vorwärtsschreiten der Medicin und

der Physiologie darin erblicken darf, dass diese Wissenschaften über so viele Gegenstände nicht mittelst der bequemen Methode der unmittelbaren Untersuchung sich Aufklärung verschaffen können, sondern nur auf Umwegen, welche bloss den in die Sache nicht gehörig Eingedrungenen abzuschrecken im Stande sind.

Schliesslich muss ich noch auf eine, schon von früheren Physiologen untersuchte und zum Theile beantwortete Frage eingehen, *ob durch den Akt der Respiration unter gewissen Bedingungen auch Kohlensäure verschwinden kann. Legallois* *) giebt an, dass *Menzies, Allen* und *Pepys,* so wie *Nysten* eine Absorption von Kohlensäure beobachteten, wenn die, dem Experimente unterworfenen Thiere öfters eine und dieselbe Luft athmeten **).

Es ist keinem Zweifel unterworfen, dass diese Absorption erfolgt, wenn die Thiere in eine Atmosphäre versetzt werden, welche sehr grosse Quantitäten von kohlensaurem Gas enthält; aber es ist, zufolge der oben gegebenen Erklärung des Gaswechsels beim Athmen, gar nicht einzusehen, dass beim wiederholten Athmen derselben Luft, wenn sie nicht schon vorher bedeutende Quantitäten von Kohlensäure führte, Kohlensäure wieder absorbirt werden kann. Es müsste nämlich, wenn übrigens der Tod des Thieres nicht schon vorher erfolgt, nothwendig ein Zeitpunkt eintreten, in welchem die Kohlensäure des Blutes sich mit derjenigen der Lungen, so wie diejenige der Lungen mit der das Thier umgebenden Atmosphäre ins Gleichgewicht gesetzt hat, so dass keine weitere Ausscheidung mehr möglich ist und eben so wenig eine Aufnahme von Kohlensäure erfolgen kann.

Ganz unzulässig, als mit den einfachsten Principien der Mechanik im Widerstreit stehend, ist die von Einigen, z. B. von *Edwards*, aufgestellte Behauptung, dass man eine gleichzeitige Strömung einer und derselben Gasart aus dem Blute in die Lungen und umgekehrt anzunehmen habe; nach welcher grundfalschen Auffassungsweise man

---

*) Ueber die thierische Wärme. Annal. de chim. et de phys. T. 4. — *Schweigger's* Journ. Bd. 20.

**) Ich habe die Abhandlungen dieser Schriftsteller gegenwärtig nicht zur Hand, so dass ich nicht verbürgen kann, ob diese Angaben richtig sind.

allerdings ganz willkührlich das in einem begrenzten Raume eingeschlossene Thier in einem Momente bedeutende Kohlensäurequantitäten exspiriren und im darauf folgenden Augenblicke wieder inspiriren lässt.

Ich habe durch sehr viele Experimente gezeigt, dass selbst bei so lange als nur möglich angehaltenem Athmen immer noch eine gewisse, wenn auch nur sehr geringe, Quantität von Kohlensäure aus dem Blute in die Lungen ausgeschieden wird. Es wäre nun sehr wünschenswerth und für die Respirationslehre ungemein wichtig, wenn durch Versuche an Thieren der (nach dem Gasgehalte und der chemischen Beschaffenheit des Blutes, so wie nach der Menge des letzteren variirende) Punkt bestimmt würde, bei welchem die Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Blute vollkommen stille steht.

*Legallois* hat (a. a. O.) einige Experimente über diese Frage angestellt. Er fand eine Absorption von Kohlensäure, wenn den Thieren sehr bedeutende Quantitäten dieses Gases zum Athmen geboten wurden. Seine Ergebnisse sind, wie folgt:

*Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft.*

| Vor dem Versuche | Nach dem Versuche | |
|---|---|---|
| 47,78 | 44,24 | (Kaninchen) |
| 46,32 | 42,64 | (Meerschweinchen) |
| 34,58 | 30,79 | (Katze) |
| 32,58 | 30,01 | (Meerschweinchen) |
| 27,73 | 26,91 | (Katze) |
| 21,90 | 21,76 | (Kaninchen) |

Bei Hunden fand er in zwei Versuchen:

zu Anfang: 20,29 — zu Ende 25,79 % kohlensaures Gas,

„ „ 17,55 — „ „ 21,55 „ „ „

also noch eine Ausscheidung von Kohlensäure. Es geht aus diesen Experimenten von *Legallois* hervor, dass der Kohlensäuregehalt der Atmosphäre zwischen 20 % — 30 % betragen muss, wenn durch den Akt der Respiration eine Absorption von Kohlensäure erfolgen soll, ein Umstand, der unsere frühere Annahme

über den höchst beträchtlichen Kohlensäuregehalt des Blutes durchaus rechtfertigt. Da, wie meine Versuche gezeigt haben, selbst bei möglichst lange zurückgehaltenem Athmen, sowie bei öfterem Athmen derselben Luft der Kohlensäuregehalt der Lungen bei weitem nicht bis auf 20 % steigt, so kann auch unter diesen Verhältnissen an eine Absorption des kohlensauren Gases gar nicht gedacht werden.

Es bleiben, wie man leicht sieht, der Experimentalphysiologie hinsichtlich dieses Gegenstandes mannigfaltige, eben so wichtige als in der That interessante Fragen zur Lösung übrig, bei denen es namentlich sehr wünschenswerth wäre, wenn die Untersuchungen sich gleichzeitig sowohl auf den Gasgehalt des Blutes als auf den Kohlensäuregehalt der Luft erstrecken würden.

---

## Siebentes Kapitel.

*Ueber die Ursachen der Ausscheidung des Wassers und des Stickgases und der Absorption des Sauerstoffgases.*

Zur vollständigen Kenntniss der Gesetzmässigkeiten, nach welchen die Ausscheidung des Wassers und des Stickgases aus dem Blute, sowie die Aufnahme von Sauerstoff in das letztere erfolgt, fehlen uns zur Zeit vor allem genaue Untersuchungen über die im Blute enthaltenen Sauerstoff- und Stickgasquantitäten, sowie Experimente über den Sauerstoff-, Wasser- und Stickgasgehalt derjenigen Luft, welche bei sehr frequenten Athemzügen und nach Hemmung der Athembewegungen in den Lungen enthalten ist. Desshalb können wir uns vorerst über diese Fragen zum Theil nur ein im Allgemeinen gehaltenes Urtheil bilden.

Was die Ausscheidung des *Wassers* betrifft, so ist es keinem Zweifel unterworfen, dass hier rein physikalische Verhältnisse obwalten. Die Schleimhaut, mit welcher die eingeathmete Luft in Berührung kommt, ist beständig befeuchtet und gibt an die in den

Lungen befindliche Luft ziemlich beträchtliche Quantitäten von Wassergas ab, nämlich so viel, als der Capacität entspricht, welche die auf + 37° C. erwärmte Luft für das Wassergas hat.

Wir dürfen uns jedoch hier nicht vorstellen, dass sämmtliche in der exspirirten Luft enthaltenen Wasserquantitäten von der Schleimhaut der Lungenzellen (also von dem, durch das eigentliche Lungencapillarsystem circulirenden Blute) herrühren. Ohne Zweifel ist ein grosser Theil des ausgeathmeten Wassers ein Produkt der Verdünstung, die auf der Schleimhaut der grösseren Luftwege, sowie auf den Wandungen der Nasen- und Mundhöhle erfolgt*). Es würden sodann diese Theile gewissermaassen auch als Excretionsorgane erscheinen, bestimmt zur Ausführung beträchtlicher Quantitäten von Wasser und nicht bloss als einfache Communikationswege der Luft, so dass wir uns auch die Häufigkeit des Erkrankens dieser Organe besser erklären könnten.

*Magendie* fand nach Injektion von Wasser in die Venen eines Hundes eine Vermehrung der ausgeathmeten Wassermenge, welche Thatsache jedoch zunächst nicht aus dem alsdann verstärkten Wassergehalte des Blutes zu erklären ist; die Schleimhaut der Respirationsorgane enthält im gesunden Zustande immer Feuchtigkeit genug, um die exspirirte Luft zu sättigen, so dass die letztere auch von einer viel stärker benetzten Schleimhaut (z. B. beim Lungenödem) nicht mehr Wasser aufnehmen kann. Die in Folge der plötzlichen Vermehrung der Blutmasse eintretende Athemnoth bewirkt in dem *Magendie*'schen Versuche eine Zunahme der Athemfrequenz und somit ganz einfach auch eine solche des ausgeathmeten Wassers.

Ueber die Verhältnisse der beständig Wasser abdünstenden Mucosa können jedoch erst genaue vergleichende Experimente über den Wassergehalt der exspirirten Luft bei Athemzügen von verschiedener Schnelligkeit Aufschluss geben, aus welchen wir erst

---

*) Eine Untersuchung der im ersten (sog. trockenen) Stadium des Catarrhes ausgeathmeten Luft würde vielleicht eine Minderung des Wassergehaltes derselben ergeben. Bei beginnenden Catarrhen bleibt wenigstens eine Vermehrung in der Urinexcretion selten aus.

werden beurtheilen können, ob die Schleimhaut der Respirationsorgane auch bei sehr frequentem Athmen genug Wasser abgibt, um die ausgeathmete Luft zu sättigen.

Einige anderen bei der Ausscheidung des Wassers durch das Athmen in Betrachtung kommenden theoretischen Fragen wurden schon im fünften Abschnitte kurz besprochen.

Die Ausscheidung des *Stickgases* aus dem Blute kann nicht anders, als nach denselben Principien erfolgen, welche wir für die Kohlensäure gefunden haben. Die geringe Löslichkeit des Stickgases in der Blutflüssigkeit verhindert nicht nur eine Absorption von Stickgas von Seiten des Blutes, sondern sie bewirkt, da das Blut verhältnissmässig nicht unbedeutende Quantitäten von Stickgas (nach den Versuchen von *Magnus* und Anderer) enthält, und da letzteres unter einem stärkeren Druck in den Lungencapillaren steht, als die in den Lungenzellen enthaltene Luft, sogar eine Ausscheidung von Stickgas.

Manche Physiologen wollen selbst im vollkommen normalen Zustand eine Absorption (oder gar abwechselnd Absorption und Exhalation!) von Stickgas bemerkt haben, eine Behauptung, die ganz bestimmt aus fehlerhaften Untersuchungsmethoden entspringt und die überhaupt völlig unwahrscheinlich ist. Muss, aus schon früher angeführten Gründen, bei der Umsetzung der Gebilde ein Theil des unbrauchbar gewordenen Stickstoffes im freien, unverbundenen Zustand austreten, hat also derselbe die Bestimmung eines Excretionsproduktes, so erscheint für den gesunden Zustand des Organismus die Aufnahme des Stickgases ganz unmöglich.

Im dritten Kapitel dieses Abschnittes haben wir schon einiger, die Absorption des *Sauerstoffes* begünstigenden Momente erwähnt und gesehen, dass hier nothwendig chemische Kräfte wirksam sein müssen, wenn bedeutende Sauerstoffquantitäten in das Blut aufgenommen werden sollen. Verschiedene Bestandtheile des Blutes haben chemische Verwandtschaft zum Sauerstoff, und zwar nicht allein der in der Blutflüssigkeit gelöste Faserstoff wie *Mulder* zeigte, sondern namentlich auch die Blutkörperchen. Die Verwandtschaft des Sauerstoffes zu gewissen Bestandtheilen des Blutes ist so gross, dass *van Enschut* nicht im Stande war, aus

mit Sauerstoffgas sogar vorher gesättigtem Blute dieses Gas wieder auszutreiben. Die im Verhältnisse zur Kohlensäure geringe Sauerstoffmenge, welche *Magnus* aus dem Blute erhielt, lässt schliessen, dass nur ein Theil des bei der Respiration verschwindenden Sauerstoffes sogleich in dem Blute chemisch gebunden wird; ich zweifle wenigstens, ob man annehmen darf, dass das durch die bekannten mechanischen Mittel aus dem Blut ausgetriebene Sauerstoffgas in demselben chemisch gebunden gewesen sei.

Die Ursache, warum die Sauerstoffaufnahme und die Kohlensäureausscheidung, trotz so verschiedener hier wirksamen Kräfte, im Allgemeinen in einem wechselseitigen Rapport steht, soll unter anderem in den beiden nächstfolgenden Kapiteln untersucht werden.

*Bei dem Gasaustausche zwischen den Lungen und dem Blute bestimmen die einzelnen Gase einander gegenseitig durchaus nicht,* obgleich sehr verdiente Physiologen, namentlich *Valentin,* das Gegentheil behaupten. Die Ausscheidung der Kohlensäure ist, wie wir bewiesen haben, eine Funktion des Kohlensäuregehaltes der Lungen und der im Blut enthaltenen Kohlensäuremenge u. s. w.; sie hängt immer zunächst von den Verhältnissen der Kohlensäure selbst ab. So steht es auch mit dem Stickgase und bei der Absorption des Sauerstoffes müssen nothwendig die quantitativen Verhältnisse der oxydirbaren Bestandtheile des Blutes maassgebend sein.

Die direkte, durch nichts vermittelte Beziehung zwischen der Ausscheidung und der Absorption der Gase beim Athmen ist in der That nur scheinbar und wir haben auch hier wieder — wie so häufig beim Studium complicirterer Naturerscheinungen — ein Beispiel, dass die verschiedensten Kräfte, wenn sie nach demselben Zwecke tendiren, so gestaltete Erfolge bedingen können, dass eine ungenügende Untersuchung diese letzteren von einer und derselben Grundkraft glaubt ableiten zu dürfen. Gerade dieser Umstand scheint die grösste Schwierigkeit zu enthalten, welche uns überhaupt bei Erforschung organischer Vorgänge entgegentritt.

## Achtes Kapitel.

*Ueber die Umwandlung des venösen Blutes in arterielles und über die Gase des Blutes.*

Das Blut erleidet bei der normalen Respiration während seines Durchströmens durch die Capillaren der Lungen gewisse Veränderungen, von denen manche, vor allem die Farbenunterschiede, schon beim ersten Anblick auffallen. Obgleich hierbei beständig derselbe Process sich wiederholt, indem kohlensaures und Stickgas ausgeschieden wird und dagegen Sauerstoffgas eintritt, so sind doch die dadurch bewirkten Veränderungen des Blutes nicht immer gleich, theils weil jene Gase in keinem völlig konstanten Verhältniss unter sich stehen, theils weil ihre Ausscheidung, resp. Aufnahme, wegen der grossen chemischen Verschiedenheiten, welche das venöse Blut selbst zeigt, mit sehr verschiedener Energie erfolgt.

Der Kohlensäuregehalt des venösen Blutes muss nothwendig in den verschiedenen Zuständen des normalen Lebens bedeutende Differenzen zeigen. Wenn nun durch den Akt der Respiration auch ein Theil der in demselben enthaltenen Kohlensäure austritt, so gehen immer noch sehr bedeutende Quantitäten (wie wir gesehen haben, ungefähr 94 %) der in dem Venenblut enthaltenen Kohlensäure in das arterielle Blut über, und wir müssen desshalb, wenn überhaupt der Gasgehalt des Blutes stärker ist, absolut mehr Kohlensäure im arteriellen Blute finden, als wir in einem anderen Falle, in welchem das Blut auch nur etwas weniger Gase enthält, selbst aus dem venösen auszuscheiden im Stande sind.

Es ist der Begriff des arteriösen und venösen Blutes, wenigstens was ihre chemische Beschaffenheit betrifft, in vieler Hinsicht ein relativer. Eine Blutmischung, die von der Art ist, dass sie den gesammten Verhältnissen der Organisation entspricht, indem die einzelnen Organe in erforderlicher Quantität Stoffe aus derselben aufnehmen und in dieselbe abgeben können, die mit einem Worte arteriell ist, erfüllt unter anderen Umständen, wenn

z. B. der Stoffverbrauch der Organe zugenommen hat, diese Bedeutung nicht mehr, obwohl wir dieselbe immer noch als arteriell bezeichnen.

Das Verhältniss, in welchem die Ausscheidung des kohlensauren- und Stickgases, sowie die Absorption des Sauerstoffgases zu den in dem Blute überhaupt enthaltenen Gasen und oxydirbaren Stoffen steht, bestimmt die Differenz zwischen dem venösen und arteriellen Blute; denn die Alterationen der übrigen Blutbestandtheile sind nur die Folge der bei der Respiration absorbirten und ausgeschiedenen Gase. Jenes Verhältniss ist — unter sonst gleichen Umständen — der genaueste Ausdruck der Energie des gesammten vegetativen Processes, des gesammten Stoffwechsels. Es hat in der That die Theorie von der übermässigen Venosität des Blutes, die schon in den Schriften der älteren Pathologen eine wichtige Rolle spielt und die man mit der Entstehung vieler Krankheiten in Verbindung brachte, einen positiven Boden. Doch wäre zu wünschen, dass sie gegenwärtig mit mehr Rücksicht auf die Ergebnisse physiologischer Forschungen, vor allem aber gestützt auf exaktes Experiment vorgetragen würde.

Was zuerst den *Sauerstoffgehalt* des Blutes betrifft, so ist derselbe von Vielen, in Folge unzureichender Untersuchungsmethoden, geläugnet, von *Magnus* aber bestimmt nachgewiesen worden. Es verhält sich die, von demselben aus dem Blute ausgeschiedene, Sauerstoffquantität zur Kohlensäure ungefähr wie 1 zu 2 bis 5; wobei es besonders auf die Blutart ankommt, indem im arteriellen Blute relativ mehr Sauerstoff enthalten ist. Da jedoch durch die Respiration mehr Sauerstoff absorbirt als Kohlensäure ausgeschieden wird, so müsste man auch erwarten, grössere Quantitäten Sauerstoff als Kohlensäure aus dem Blut ausscheiden zu können, was aber nicht der Fall war. Es erklärt sich dieses, abgesehen davon, dass die Ausscheidung des Sauerstoffgases viel schwerer gelingt, als diejenige des kohlensauren Gases dadurch, dass ein Theil desselben chemisch gebunden wird und sich alsdann nicht mehr aus dem Blut austreiben lässt.

Die Existenz von einfach in der Blutflüssigkeit gelöstem oder in den Blutkörperchen enthaltenem, keine chemische Verbindung

eingehenden Sauerstoff lässt sich zwar, ausgezeichneten Chemikern und Physiologen zufolge, mit dem Vorhandensein oxydirbarer Stoffe im Blute nicht vereinen; doch glaube ich, dass hier, wenn ich anders wagen darf, mich auf eine der schwierigsten Fragen der gesammten Blutphysiologie, ohne hierüber specielle Untersuchungen angestellt zu haben, einzulassen, folgende Verhältnisse in's Spiel kommen, die begreiflich machen, warum nicht aller absorbirte Sauerstoff sich der oxydabeln Bestandtheile des Blutes bemächtigt.

Wir haben in den vorhergehenden Kapiteln die Gesetze kennen gelernt, nach welchen die Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Blute erfolgt und gesehen, dass hier zunächst einzig und allein die Verhältnisse der Kohlensäure selbst maassgebend sind. Gehen wir aber einen Schritt weiter und suchen wir zu einer deutlichen Einsicht zu gelangen, wie es möglich ist, dass der in das Blut aufgenommene Sauerstoff sich nur theilweise mit den oxydirbaren Bestandtheilen des Blutes verbindet, so finden wir bei diesem Processe allerdings einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen der Aufnahme des Sauerstoffes und der Ausscheidung der Kohlensäure.

Es ist nämlich eine fast ganz allgemeine, schon von *Spallanzani* aufgefundene Thatsache, dass organische Stoffe der verschiedensten Art in Berührung mit atmosphärischer Luft oder mit Sauerstoffgas Kohlensäure entwickeln und dafür Sauerstoff aufnehmen, ein Gegenstand, den die neueren Chemiker, vor allen *Liebig*, in ihren Untersuchungen über die Erscheinungen der Verwesung, Gährung u. s. w. auf's Genaueste verfolgt haben. Diese Erfahrung ist nun in Bezug auf das Blut vollkommen bestätigt durch *Scherer's* schon früher erwähnte wichtige Beobachtung, dass der Faserstoff Sauerstoff absorbirt und dafür, jedoch in geringerer Menge, Kohlensäure abgiebt. Wenn demnach der in das Blut aufgenommene Sauerstoff sich mit den oxydirbaren Bestandtheilen desselben verbindet, so müssen diese, oben citirter Erfahrung zufolge, eine gewisse Menge von Kohlensäure bilden und abgeben, welche, sammt der schon vorher in dem Venenblut enthaltenen Kohlensäure, sodann aus dem Blut in die Lungen zu entweichen sucht, was jedoch eine Beschränkung erleidet, indem die Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Blute von dem Kohlensäuregehalte der

in den Lungen befindlichen Luft auf das Genaueste abhängt. *Da die Sauerstoffabsorption von Seiten der oxydabeln Stoffe des Blutes beständig mit einer Ausscheidung von Kohlensäure verbunden ist, so muss sie auch von den Quantitätsverhältnissen abhängen, in welchen die Kohlensäure abgeschieden werden kann.* Wenn nun eine gewisse Menge von Kohlensäure aus der Blutflüssigkeit in die Lungen entweicht, so zeigt die Kohlensäure, welche an die, theils in den Blutkörperchen, theils in der Blutflüssigkeit enthaltenen organischen Stoffe locker gebunden ist, das Bestreben, sich ihres Ueberschusses von diesem Gase zu entledigen, da die in der Blutflüssigkeit gelöste Quantität dieses Gases abgenommen hat. Durch diese Entbindung der Kohlensäure aus den oxydabeln Bestandtheilen des Blutes ist sodann den letzteren die Aufnahme und chemische Bindung einer neuen entsprechenden Quantität von Sauerstoff möglich gemacht. Doch hat diese Sauerstoffaufnahme der oxydirbaren Stoffe eine Grenze, da die Kohlensäureentwickelung ebenfalls — wie ausgeführt worden ist — beschränkt ist. Das Blut kann also allerdings gewisse Quantitäten von Sauerstoff enthalten, die in keine chemische Verbindung eingehen müssen, eben weil die Oxydation der Bestandtheite des Blutes von dem Verhältnisse abhängt, in welchem die Ausscheidung der Kohlensäure erfolgt und weil die Blutflüssigkeit für das Sauerstoffgas eine, wenn auch nicht sehr bedeutende Absorptionsfähigkeit besitzt. *Eine der Bildungsquellen der Kohlensäure ist demnach unstreitig in dem Blute selbst zu suchen.*

Wir sind demnach im Stande, die Entstehung der Kohlensäure aus den Bestandtheilen des Blutes, ihre Lösung in der Blutflüssigkeit, ihre Ausscheidung in die Lungen und ihr endliches Austreten aus den Lungen Schritt für Schritt zu verfolgen.

Wir erblicken hier ferner ein schönes Beispiel der, nach wohlberechnetem Plan erfolgenden, Harmonie zwischen der Aufnahme und der Ausscheidung der Materie; zwischen den organischen Oxydationsprocessen und der Ausscheidung des kohlensauren Gases. Künftige Untersuchungen müssen lehren, ob — was sehr wahrscheinlich ist — ausser dem Faserstoffe noch andere Bestandtheile des Blutes sich mit dem Sauerstoff verbinden, was

namentlich schon längst von dem Farbstoff behauptet, jedoch neuerdings von *Mulder* wieder bezweifelt wird.

Die Bedeutung des in den Lungencapillaren zur Oxydation von Blutbestandtheilen nicht verwendeten und einfach in dem Blute gelösten Sauerstoffes werden wir im nächsten Kapitel, bei der Untersuchung über die Verwandlung des arteriellen Blutes in venöses, soweit es unsere gegenwärtigen sehr beschränkten Kenntnisse über den Stoffwechsel der Organe möglich machen, untersuchen.

Durch die Betrachtung der Verhältnisse des Sauerstoffes wurden wir bereits zu der zweiten wichtigen Veränderung, welche das Blut durch das Athmen erleidet, geführt, nämlich zu der zwischen dem arteriellen und venösen Blute bestehenden Differenz hinsichtlich des *kohlensauren Gases*. *Magnus* fand absolut etwas mehr Kohlensäure im arteriellen Blute; dagegen fiel das relative Verhältniss beider Gase im Venenblute allerdings bedeutend zu Gunsten der Kohlensäure aus.

Erstere Erfahrung scheint allerdings nicht möglich zu sein, denn in der Ausscheidung der Kohlensäure besteht eine der hauptsächlichsten Bestimmungen des Athmens. Einige dieser vergleichenden Experimente von *Magnus* wurden aber, wenn auch an denselben Thieren, doch in verschiedenen Tagen gemacht, wodurch uns jenes Resultat zum Theil erklärlich ist, abgesehen von den grossen Schwierigkeiten, die sich hier einem exakten Resultate entgegenstellen. Höchst wahrscheinlich ist aber die Differenz in dem Kohlensäuregehalte beider Blutarten etwas geringer, als man, der durch die Respiration ausgeschiedenen Kohlensäurequantität zufolge, vermuthen sollte, da die oxydirten Bestandtheile des Blutes in Folge ihrer Sauerstoffaufnahme Kohlensäure entbinden.

*Magendie* hat in 100 Grammen Venenblut 0,078 Gr. und in 100 Gr. Arterienblut 0,066 Gr. Kohlensäure gefunden; so dass demnach 15% von der durch die Lungenkapillaren strömenden Kohlensäure bei der Respiration austreten würden. Legen wir die (Seite 118 motivirte) Angabe *Valentin's* über die in einer Minute durch die Lungen strömende Blutmenge zu Grunde, so müssten alsdann 8,76 Gramme = 4350 Kub. Cent. kohlensauren Gases in einer Minute aus dem Herzen in die Lungen fliessen, und die Lungen-

venen müssten 3300 K. C. Kohlensäure in das linke Herz abführen, sodass in einer Minute durch das Athmen ein Verlust von 1050 Kub. Cent. kohlensaures Gas erfolgen würde, eine Zahl, welche die bei ruhigem Athmen im Mittel exhalirte Kohlensäurequantität ungefähr um das Vierfache übertrifft. Bei anderen Annahmen über die, in einer bestimmten Zeit durch die Lungen strömende Blutmenge würden jedoch die *Magendie*'schen Zahlen sich den Erfahrungen über die, durch die Respiration austretende Kohlensäuremenge mehr nähern. Der von *Magendie* angegebene Kohlensäureverlust des Blutes erscheint ferner schon desshalb, wenigstens für die Zustände des ruhigen Athmens, zu hoch, weil, wie man sich durch das Experiment leicht überzeugen kann, durch sehr schnelle und tiefe Exspirationen in derselben Zeit wenigstens 8 mal mehr Kohlensäure exspirirt werden kann, als durch normales Athmen, was mit der *Magendie*'schen Annahme keineswegs übereinstimmt. Doch lassen sich *Magendie's* Resultate erklären, wenn die, den Experimenten unterworfenen Thiere schnelle Respirationsbewegungen gemacht haben, was allerdings sehr wahrscheinlich ist.

Es ist klar, dass das Venenblut nach seiner Umwandlung in arterióses weniger Kohlensäure enthällt, als vorher, da aber im Verhältnisse zu dem Kohlensäuregehalte des Blutes eine nicht sehr bedeutende Quantität von Kohlensäure während der Respiration ausgeschieden wird, so muss auch die Untersuchungsmethode schon ziemlich genau sein, wenn dieselbe ein zur Vergleichung beider Blutarten brauchbares Resultat liefern soll.

Aus diesem Grunde wird es wohl immer unmöglich sein, die kleinen Differenzen, welche der *Stickgasgehalt* des arteriellen und venösen Blutes zu Gunsten des letzteren nothwendig zeigen muss, durch direkte Analyse zu ermitteln. Der Stickstoff kann sich, abgesehen von den früher angeführten, auf experimentellem Wege aufgefundenen Thatsachen, durchaus nicht, wie viele Physiologen annehmen, bei der Respiration neutral verhalten, was uns schon die ganz allgemeine Thatsache beweist, dass Gase, wenn sie mit solchen Flüssigkeiten in Berührung kommen, zu denen sie nicht einmal chemische Verwandtschaft haben, in welchen sie aber —

wenn auch in noch so geringer Menge — löslich sind, von denselben absorbirt werden. Es müsste desshalb, wenn das Venenblut auch frei von Stickgas wäre, jedenfalls, da das Stickgas, freilich nur in geringem Grade, löslich ist in der Blutflüssigkeit, wenigstens eine Absorption von Stickgas während der Respiration erfolgen. Letzteres ist nun sicheren Untersuchungen zufolge im normalen Zustande nicht der Fall; man wurde im Gegentheile auf verschiedenem Wege zu der Ueberzeugung gebracht, dass durch den Process der Respiration Stickgas aus dem Körper ausgeschieden wird.

Nach dem Vorgetragenen dürfen wir uns vielleicht über den Zustand, in welchem die Gase in dem Blut enthalten sind, eine Vorstellung machen. Ein Theil des Sauerstoffes muss nothwendig in chemische Verbindungen eingegangen sein; ein anderer Theil aber bleibt in demselben Zustande wie die beiden übrigen Gase, d. h. einfach in der Blutflüssigkeit gelöst, oder lose an die Blutkörperchen gebunden. Die Kohlensäure und das Stickgas sind nicht in chemischer Verbindung im Blute enthalten; sie sind Excretionsstoffe, die sich mit keinem Bestandtheile des Blutes zu vereinigen, und keine weiteren Zwecke im Organismus zu erfüllen haben.

Das Blut unterscheidet sich anatomisch und chemisch im Wesentlichen durchaus nicht von den festen belebten Theilen. Beide bestehen aus einem festen, zum Theile Zellenform zeigenden Substrate, das durchfeuchtet und umgeben ist von einer Flüssigkeit oder einer, meistens amorphen Masse, welche eben die Bestandtheile dieses Substrates, die theils in fester, theils in gasförmiger Gestalt ausscheidbar sind, aufgelöst enthält. Bloss dass quantitative Verhältniss dieser beiden Hauptbestandtheile bestimmt den Unterschied zwischen festen Theilen und Blut. Die nicht chemisch gebundenen Gase bilden einen wesentlichen Bestandtheil *jeder* organischen Moleküle, möge dieselbe nun in einer Flüssigkeit gelöst sein, oder feste Gestalt angenommen haben.

Wenn es sich nun auch von selbst versteht, dass die in Gasform austretenden Excretionen früher Bestandtheile der eigenthümlichen, specifischen Materie der Organe waren, so ist dadurch

doch die Frage nicht beantwortet, ob alles aus organischen Gebilden, besonders aus dem Blute, ausgeschiedene kohlensaure und Stickgas schon vorher in der Weise, wie wir uns vorgestellt haben, in dem Blute präformirt war, oder ob es zum Theil erst während des Experimentes als Excretionsprodukt der organischen Bestandtheile des Blutes gebildet wurde. Der Umstand, dass Wasserstoffgas, also ein Körper, der die Lebensaktionen des Blutes durchaus nicht zu erhalten im Stande ist, bedeutende Quantitäten kohlensauren Gases austreibt, möchte vielleicht für die Präformation des letzteren im Blute sprechen; eine Annahme, die durch die Möglichkeit, dass man in kürzester Zeit durch sehr frequente und tiefe Exspirationen bedeutende Kohlensäurequantitäten erhalten kann, eine weitere Stütze finden dürfte. —

Was die übrigen Bestandtheile des Blutes betrifft, so ist es nach den bisher bekannt gewordenen Untersuchungen sehr schwierig, zu entscheiden, ob und auf welche Weise dieselben durch die Respiration Veränderungen erleiden. Bloss hinsichtlich des *Faserstoffes* hat man unzweifelhaft bedeutende, jedenfalls aber sehr variable Differenzen zwischen dem venösen und arteriellen Blute gefunden. In dem Arterienblute sind grössere Quantitäten Fibrine enthalten. Ueber die Art und Weise, wie dieselbe in dem Blute sich befindet, hat man sich noch nicht verständigen können. Es ist aber, wenn anders das in den Lungenkapillaren oxydirte Protein, sobald es in die Capillaren der Organe gelangt ist, in das Parenchym der letzteren exosmotisch austreten soll, gar kein anderer Fall denkbar, als dass der Faserstoff im Blute aufgelöst enthalten sein muss, wenn wir auch die Bedingungen seiner Lösung noch nicht kennen. Dass der Faserstoff nicht der einzige oder doch der vorzugsweise Träger des Sauerstoffs sei, wie *Mulder* behauptet, beweist ganz evident die Thatsache, dass defibrinirtes Blut sehr bedeutende Quantitäten Oxygen mit Leichtigkeit zu absorbiren im Stande ist.

Sichere vergleichende Untersuchungen über das Verhalten der übrigen Stoffe in den beiden Blutarten fehlen uns durchaus. Die Differenzen sind ohne Zweifel gering, so dass sie nur durch die genauesten Hülfsmittel der Analyse aufgefunden werden können.

*Simon* hat zwar vergleichende Analysen über die Unterschiede des in einige Absonderungsorgane ein- und ausströmenden Blutes mitgetheilt. Er ist dabei zu Differenzen gekommen, die verhältnissmässig so gross sind, dass die Absonderungen in ganz enormen Quantitäten erfolgen und eine chemische Zusammensetzung zeigen müssten, die den direkten Analysen der Excretionen durchaus widerspricht. Wenn eine derartige Untersuchung möglich ist nnd Resultate verspricht, so ist es ohne Zweifel diejenige des in der Lungenarterie und Lungenvene enthaltenen Blutes, da die Stoffausscheidung in den Lungen sowohl an und für sich, als auch im Verhältnisse zu den übrigen Excretionen höchst bedeutend ist. Sollten jedoch auch hier die Differenzen (die Gase und den Faserstoffgehalt natürlich ausgenommen) zu gering sein, so kann vielleicht eine Vergleichung von gewöhnlichem Blute mit solchem, das mit den bei der Respiration funktionirenden Gasen gesättigt und längere Zeit mit denselben in Berührung gelassen würde, also gleichsam ein künstlicher Respirationsversuch im Grossen, zu dem gewünschten Resultate und zur, wenigstens annähernden, Kenntniss des Einflusses der Gase auf die verschiedenen Blutbestandtheile führen.

Hinsichtlich der *Wasserquantitäten* beider Blutarten ist man zu verschiedenen Resultaten gekommen; man hat bald im venösen, bald im arteriellen Blute mehr Wasser gefunden. Es strömen nun in einer Minute 11000 Gramme Blut, welche nach *Lecanu* im Mittel 8690 Gr. Wasser enthalten, durch die Lungen; der Wasserverlust bei der Respiration beträgt in derselben Zeit etwa 0,25 Gramme, eine Quantität, welche im Verhältnisse zu der erwähnten Wassermenge des Blutes ausserordentlich gering ist. Es kann desshalb, wenn man anders von der Ansicht ausgehen darf, dass die Differenzen in dem Wassergehalte beider Blutarten dem ausgeathmeten Wasser entsprechen müssen, jene Frage durch die Hülfsmittel der Analyse nicht gelöst werden.

*Becquerel* und *Breschet* haben das Arterienblut wärmer gefunden (im Durchschnitt um 0,°8 C.), was ohne Zweifel zum Theil eine Folge der Oxydationsprocesse ist, welche das Blut in den Lungenkapillaren erleidet. Die übrigen, zwischen beiden Blut-

arten in chemischer und physikalischer Hinsicht von verschiedenen Physiologen angegebenen Differenzen übergehe ich als durchaus problematisch.

Der merkwürdige Farbenunterschied des Venen- und Arterienblutes hat von jeher zu den verschiedensten Erklärungsversuchen Anlass gegeben, von denen jeder durch den nachfolgenden widerlegt worden ist. Alle Thatsachen zeigen jedoch, dass es hierbei nicht sowohl auf die Aufnahme oder Ausscheidung gewisser Quantitäten von Gasen, sondern auf das gegenseitige Verhältniss ankommt, in welchem dieselben in dem Blute enthalten sind, und dass die verschiedensten Ursachen, welchen man einen direkten Einfluss auf die Blutfarbe zugeschrieben hat, auf diesem Wege wirksam zu werden scheinen.

Die neueste Theorie hat *Mulder*, in seinem vortrefflichen „Versuche einer allgemeinen physiologischen Chemie" vorgetragen. Sie ist folgende: Die Proteinsubstanz, die bei der Gerinnung des Blutes Fibrin erzeugt und in der Blutflüssigkeit aufgelöst sich befindet, wird in den Lungen oxydirt, erhält eine Neigung fest zu werden und sich an feste Körper anzuschliessen, so dass sie sich als eine dünne Schichte um die Zellenmembran der Blutkörperchen legt; diese Membran wird dann weniger durchscheinend, nämlich weiss, wodurch der ursprünglich dunkle, in den Blutkörperchen eingeschlossene Farbstoff hochroth erscheinen muss.

Geschlagenes Blut, aus welchem aller Faserstoff abgeschieden ist, wird aber durch Sauerstoffgas hellroth und nach Absorption von kohlensaurem Gase wieder dunkelroth. Dasselbe enthält aber in seinem flüssigen Theile keinen aufgelösten Faserstoff, der sich an die Blutkörperchen legen und eine Schichte um dieselben bilden könnte, eine Thatsache, durch die *Mulder's* Erklärung widerlegt wird.

## Neuntes Kapitel.

*Ueber die Umwandlung des arteriellen Blutes in venöses und über die Bildung der Kohlensäure.*

Ob mit dem Uebergange des Blutes aus den Capillaren der Lungen in die Anfangsstämme der Lungenvenen die chemischen Aktionen beendet sind und dasselbe in den Arterien keine weiteren Veränderungen erleidet, ist, obgleich diese Frage für die Physiologie sehr wichtig ist, noch nicht untersucht worden. Möglicherweise zeigt das Blut der Halsschlagader Differenzen von dem vom Herzen sehr weit entfernt sich befindenden Arterienblute, was schon desshalb nicht ganz unwahrscheinlich erscheint, wenn wir bedenken, dass das Blut eine hoch organisirte, sehr zusammengesetzte und desshalb zu Umsetzungen sehr geneigte Flüssigkeit ist.

In den Haargefässen der Organe erleidet das hellrothe Blut neue Umwandlungen, welche in jedem Organe oder Körpertheile, je nach der Funktion desselben, verschieden sind, während dagegen sämmtliches durch die Lungen strömende Blut eine gleiche Metamorphose erfährt.

Das Blut ist von der eigentlichen Substanz der Organe bloss durch die ungemein dünne und sehr leicht permeable allgemeine Gefässhaut geschieden. Je nach der chemischen Zusammensetzung der Organe treten dann gewisse Bestandtheile exosmotisch aus dem Blute in das Parenchym über, wofür letzteres unbrauchbar gewordene Stoffe in das Blut abgiebt. Dieser gegenseitige Austausch ist nur möglich durch die Differenzen in der chemischen Zusammensetzung des Blutes und der Organe; der Stoffwechsel wird durch den aufgehobenen Gleichgewichtszustand zwischen den Bestandtheilen des Blutes und des Parenchymes bedingt; die gesammte Ernährung und Ausscheidung erfolgt somit nach dem einfachsten Principe und wir haben durchaus nicht zu eigenthümlichen, der secernirenden Membran und der Haut der Capillargefässe zukommenden Kräften unsere Zuflucht zu nehmen, wenn wir diese merkwürdigen Processe erklären wollen. In der verglei-

chenden chemischen Untersuchung über die Zusammensetzung des Blutes und der verschiedenen Organe, sowie in der Erforschung der etwaigen Differenzen der permeabeln, die Exosmose vermittelnden Scheidewand, Gegenstände, die vielleicht nicht einmal so schwierig und für das Experiment unerreichbar sind, als man häufig annimmt, ist die hauptsächlichste Bedingung des fruchtbaren Studiums dieser Vorgänge enthalten.

Nicht nur die festen Substanzen, welche in der exosmotisch ein- und austretenden Flüssigkeit enthalten sind, sondern auch die in derselben gelösten Gase sind in beständigem Ortswechsel zwischen dem Parachyme der Organe und dem Blute begriffen.

Mit den Lebensaktionen der Moleküle der Organe ist eine ununterbrochene Bildung von Kohlensäure und eine entsprechende Sauerstoffaufnahme verbunden. Die auf diese Weise aus der Substanz der Organe gebildete Kohlensäure tritt nun, da das in den Körpercapillaren strömende Arterienblut einen Theil seiner Kohlensäure verloren hat, in das Blut über; es ist somit den Organen eine weitere Kohlensäureentwickelung möglich gemacht, wodurch eine neue chemische Bindung von Sauerstoff bedingt wird, die auf Kosten des an die Organtheile lose und nicht chemisch gebundenen Sauerstoffes geschieht. Da in Folge des letzteren Processes das Sauerstoffgas der Organe abgenommen hat, so giebt das in dem Blute gelöste Oxygen seinen Ueberschuss an das Parenchym ab. Aehnlich wie die Ausscheidung der Kohlensäure erfolgt auch die Exosmose des in Folge der Lebensverrichtungen der Organe freigewordenen Stickgases aus dem Parenchyme der Organe in das Blut.

Nichts ist einfacher als diese Vorstellung über den Stoffwechsel im Körper; alle Thatsachen sind durchaus mit derselben vereinbar und lassen sich ungezwungen auf diese Weise erklären; vor allem wird dadurch der, schon bei der oberflächlichsten Betrachtung als ganz nothwendig resultirende, innige Zusammenhang zwischen Ernährung und Ausscheidung mehr im Detail anschaulich gemacht.

Es beschränkt sich demnach der Gaswechsel zwischen dem Organismus und der atmosphärischen Luft nicht bloss auf einen ge-

genseitigen Austausch zwischen dem Blute und den Lungen; es ist das Blut, vermöge der chemischen Bindung eines Theiles des absorbirten Sauerstoffes und der dadurch bedingten Bildung von Kohlensäure, bei weitem nicht die einzige Quelle der Kohlensäure; sondern es wird ein grosser Theil des durch die Respiration aufgenommenen Sauerstoffes zum Uebergang aus dem Blut in das Parenchym der Organe verwendet und die aus dem Organismus ausgeschiedene Kohlensäure rührt grösstentheils von der Substanz der Organe selbst her. Die Organe selbst athmen, d. h. sie nehmen Sauerstoff auf und geben Kohlensäure her.

Wir müssen desshalb einen in den Lungen vor sich gehenden Gasaustausch unterscheiden, den wir *atmosphärische Diffusion* nennen wollen, und einen demselben adäquaten Gaswechsel zwischen dem Blut und den Körpertheilen, welchen Process wir als *parenchymatöse Diffusion* bezeichnen können. Beide Akte müssen in genauester Uebereinstimmung erfolgen; in demselben Zeitraume, in welchem eine gewisse Portion Kohlensäure aus den Organen in das Blut ausgeschieden wird, muss dieselbe Quantität dieses Gases aus dem Blute in die Lungen entweichen, wenn der Gasgehalt des Blutes sich gleich bleiben und der Organismus keine Störung erfahren soll. Die Organe verhalten sich demnach in Bezug auf ihren Gasgehalt und ihre Gasausscheidung zu dem Blute, wie das Blut sich zu dem in den Lungen befindlichen Gasgemische verhält. Das Blut nimmt die Kohlensäure der Organe, die Luft in den Lungen dagegen nimmt die Kohlensäure des Blutes auf. Dasselbe gilt in umgekehrter Richtung von der Aufnahme des Sauerstoffes.

Von der Entstehung der Kohlensäure bis zu ihrem endlichen Austreten aus dem Organismus vermittelst der Exspirationsbewegungen können wir jetzt eine ununterbrochene Kette von Ursache und Wirkung nachweisen, in welcher uns kein einziges Glied fehlt. Eine Stockung in der Ausscheidung der Kohlensäure aus den Lungen zieht, unserer Anschauungsweise zufolge, sogleich eine Hemmung in der Kohlensäureentwickelung von Seiten der Organtheile nach sich. Bei dem gesammten Gaswechsel überhaupt, worin eben das Wesen der Respiration besteht, sehen wir ein

und dasselbe Princip wirksam, nämlich das Gleichgewichtsverhältniss hinsichtlich des Gasgehaltes der gegenseitig in Contakt kommenden organischen Moleküle. Alle Bewegung in der Natur ist in letzter Instanz von aufgehobenen Gleichgewichtszuständen abhängig. Bei einer Verschiedenheit in dem Kohlensäuregehalte zwischen dem Blute und den Organtheilen muss, nach den einfachsten Grundprincipien der Mechanik, die Tendenz zur Ausgleichung dieser Differenzen sogleich sich geltend machen; das Blut muss desshalb bei seinem Durchströmen durch die Lungen nothwendig von seiner Kohlensäure in die in den Lungen befindliche, weniger Kohlensäure enthaltende Luft abgeben.

Da in einer und derselben Zeit eine viel grössere Blutquantität durch sämmtliche Körpertheile strömt, als durch die Lungen, so muss auch ganz natürlich dasselbe Blutmolekül während der parenchymatösen Diffusion weniger Veränderungen erleiden, als durch die atmosphärische Diffusion, da durch diese beiden Processe — wie schon ausgeführt worden — in der nämlichen Zeit gleiche Mengen von Kohlensäure ausgeschieden werden. Manche Thatsachen beweisen diese Vermuthung zur Genüge. Das Capillargefässsystem der Lungen ist ausserordentlich fein; es bildet ein sehr dichtes Netzwerk mit ungemein kleinen Maschen; die Organe des Körpers haben, im Allgemeinen wenigstens, ein weniger feines Capillarsystem; desshalb muss auch an jeder einzelnen Stelle des letzteren der Gaswechsel weniger energisch sein, als in den Lungen. Der Unterschied der in einer gegebenen Zeit durch die Lungen strömenden Blutmenge von dem, durch das gesammte übrige Capillarsystem fliessenden Blut *), eine freilich unbekannte, höchstens approximativ anzugebende Grösse, giebt an, um wieviel Male die atmosphärische Diffusion stärker ist als die

*) *Valentin* (Lehrbuch der Physiologie, Band 1, S. 489) nimmt zwar an, dass in derselben Zeit eben so viel Blut durch die Lungen strömt, als durch das gesammte Körpercapillarsystem. Ich glaube, dass schon die einfache Vergleichung des Gewichtes und der Volumverhältnisse der zu dem grossen und kleinen Kreislaufe gehörenden Organe zu einer ganz anderen Ansicht führen muss.

parenchymatöse, mit anderen Worten, wie viel grösser die Kohlensäuremenge ist, welche aus einer gewissen, durch die Lungen strömenden Quantität Blutes abgeschieden wird, als diejenige, welche durch die gleiche Portion Blut bei dessen Durchströmen durch die Körpercapillaren aus dem Parenchyme der Organe aufgenommen wird.

Die Ausscheidung von Gasen aus dem Parenchyme der Organe in das Blut kann, wie diejenige der festen Excretionsstoffe, z. B. der Harnsäure, krankhaft vermehrt und vermindert werden. In letzterem Falle bilden sich Anhäufungen von Gasen im Parenchyme der Organe (Emphysema), eine Krankheit, die besonders mit Störungen des Nervensystems verbunden ist. Die Zustände des Nervensystemes sind die Regulatoren des Stoffwechsels, ohne dass desshalb die Ansicht zulässig ist, dass das Nervensystem die Ursache der vegetativen Processe sei, denn die Zustände der Nerven sind in derselben Weise abhängig von dem Stoffwechsel, wie sie andererseits wieder auf diesen influiren.

Der Organismus stellt gleichsam ein grosses Magazin zur Kohlensäureentwickelung dar. Nicht genug, dass, wie meine Versuche mit sehr frequenten und tiefen Athemzügen gezeigt haben, in kürzester Zeit enorme Quantitäten von Kohlensäure ausgeschieden werden können; man kann dieses Experiment ziemlich lange fortsetzen und so die Lungenexcretion im Verhältnisse zu den normalen Zuständen ausserordentlich steigern.

Gewöhnlich ist man der Ansicht, dass auf verstärkte Ausscheidung der Kohlensäure eine Verminderung derselben erfolgen müsse, indem man anzunehmen scheint, dass das zur Entwickelung der Kohlensäure verwendbare Material alsdann abnehme. Wir haben aber früher gesehen, dass sogar nach vorhergegangener, nicht allzu anstrengender und zu lange fortgesetzter Körperbewegung die Kohlensäure nicht nur keine Abnahme, sondern im Gegentheile selbst eine kleine Zunahme zeigt. Die beiden folgenden Experimente beweisen nun, dass selbst nach dem angestrengtesten, längere Zeit fortgesetzten Athmen die Ausscheidung der Kohlensäure nicht sehr gemindert wird.

Beobachtung 239 (das Nähere wolle daselbst nachgesehen werden) exspirirte ich Abends $10^h$ in einer Minute 209 K. C. (4,33 %)

kohlensaures Gas. Trotz dem, dass ich darauf bis $10^h52'$ zwischen 4000 bis 5000 Exspirationen von gewöhnlicher Tiefe machte (so dass einige 80 Ausathmungen auf eine Minute fallen), zeigte die ausgeathmete Luft (Nr. 240) $11^h13'$ doch nur eine Verminderung von 0,27 % Kohlensäure und ich athmete in einer Minute 196 K. C. kohlensaures Gas aus. — Bei Beob. 335 erhielt ich $9^h32'$ in einer Minute 262 K. C. (4,32 %) kohlensaures Gas; von $9^h35'$ bis $10^h45'$ machte ich (Exper. 336) 3800 genau gezählte Athemzüge, also 54 in einer Minute; die hierauf um $11^h$ ausgeathmete Luft zeigte 3,65 % Kohlensäure, während das in einer Minute ausgeschiedene kohlensaure Gas 235 K. C. betrug.

Wenn auch in beiden Experimenten die Ausscheidung der Kohlensäure nach sehr schnellem Athmen eine Verminderung erlitten hat, so ist dieselbe doch, namentlich im ersten Falle, verhältnissmässig nicht sehr bedeutend; ja sie kann möglicherweise von ganz anderen Ursachen, als von dem hastigen Athmen abhängen. Während beider Experimente verspürte ich keine besonders starken Beschwerden; bloss in Folge des zweiten Versuches, bei welchem die Respiration weniger beschleunigt war, der aber längere Zeit (70 Minuten) hindurch fortgesetzt wurde, fühlte ich mehrere Stunden hindurch als Nachwirkung stechende Schmerzen in der Brust. Auffallend ist, dass der Puls, trotz der ungemeinen Beschleunigung der Athembewegungen, durchaus nicht frequenter wurde. —

Die Veränderungen, welche die übrigen Bestandtheile des Blutes bei ihrem Durchgange durch die Capillaren erleiden, gehören nicht hierher, diejenigen des Faserstoffes ausgenommen, welcher zu der Respiration in direkter Beziehung steht. Es ist mehr als wahrscheinlich, dass derselbe in der Blutflüssigkeit aufgelöst ist, exosmotisch in das Parenchym der Organe austritt und in die Substanz derselben übergeht. *Mulder* nimmt mit vielem Grunde an, dass derselbe zur Bildung des Zellgewebs, Chondrin's und der Bestandtheile der Hornsubstanzen diene, während das nicht oxydirte Protein zur Bildung der Muskelfaser verwendet werde.

---

# Zehntes Kapitel.

*Die Respiration in ihrem Verhältnisse zu der Körperwärme.*

Die Frage über die Entstehung und die Erscheinungen der animalischen Wärme gehört zu den interessantesten in dem gesammten Gebiete der Physiologie und Pathologie. Sie ist aber häufig auf eine durchaus ungenügende Weise untersucht worden, so dass es uns nicht wundern darf, wenn wir hierin bei den ausgezeichnetsten Physiologen den widersprechendsten Ansichten begegnen. Während die einen die Quelle der animalischen Wärme von mannigfaltigen, dem Organismus durchaus eigenthümlichen Ursachen, von der Lebenskraft, der Nervenkraft u. s. w. ableiteten, und damit sogar eine Erklärung des vorliegenden Problemes zu geben glaubten; übertrugen die anderen mit Recht aus der Physik und Chemie die durch exakte Beobachtungen gewonnenen Thatsachen über die Entstehung und Verbreitung der Wärme auf die Verhältnisse unseres Körpers, ohne jedoch im Stande gewesen zu sein, die ausserordentlichen Schwierigkeiten, welche der exakten Lösung dieser complicirten und schwierigen Frage auf dem — natürlich allein wahren — experimentellen Wege entgegenstehen, vollständig überwinden zu können. Es wiederholt sich also auch hier der Kampf, dem wir in jedem einzelnen Theile der Physiologie begegnen, und bei dem es sich um nichts Geringeres handelt, als um die Frage, ob die Erscheinungen und Vorgänge im Organismus durch abstrakte Ursachen, die nur in der Idee, nicht aber in der Wirklichkeit existiren, oder durch Thatsachen erklärt werden sollen, deren Gültigkeit erwiesen ist; mit einem Worte, ob man in dem Geiste der alten, unfruchtbaren scholastischen Naturforschung, oder nach der Methode der exakten, lebensfrischen Wissenschaften untersuchen will. —

Das Athmen ist für die thierische Wärme von doppelter Bedeutung. Durch die Aufnahme und chemische Bindung des Sauerstoffes entsteht Wärme in grosser Menge; dagegen wird auch ein Theil der Körperwärme durch die ausgeathmete Luft ausgeführt,

da die Temperatur der inspirirten Luft fast immer niederer ist, als die des Organismus. Ausserdem bedingt das in der exspirirten Luft enthaltene, von der Schleimhaut der Respirationsorgane abgedunstete Wasser eine, verhältnissmässig jedoch unbedeutende Abkühlung des Körpers.

Die Wärmebildung findet sowohl in den Lungen statt, indem ein Theil des inspirirten Sauerstoffes sich mit Bestandtheilen des Blutes vereinigt, als auch in dem gesammten Capillarsysteme des Körpers, da eine gewisse Menge des in dem Blute gelösten, nicht chemisch gebundenen Sauerstoffes in das Parenchym der Organe übergeht, um sich mit ihrer Substanz zu verbinden.

*Dulong* und *Despretz* haben sich in ihren, mit Recht hochgeschätzten Versuchen bemüht, die Beziehungen zwischen der Wärmebildung und den Oxydationserscheinungen im Organismus aufzuklären und die *Lavoisier*'sche Lehre auf experimentellem Wege zu erweisen. Es ist keineswegs, wie man noch hier und da gerne glauben machen will, eine gewagte Hypothese, wenn man die Thatsachen, zu welchen die Physik und Chemie hinsichtlich der bei der Oxydation des Kohlenstoffes und Wasserstoffes entstehenden Wärmequantitäten gelangt sind, auf die Bildung der Kohlensäure und des Wassers im Bereiche des Organismus anwendet. Dass der Kohlenstoff der exspirirten Kohlensäure noch kurz vorher ein Bestandtheil des Blutes und der Organe war, darüber ist kein Zweifel möglich, und vielfache, zum Theil schon oben erwähnte Erfahrungen zeigen, dass durch organische Substanzen der allerverschiedensten Art, wenn sie mit Sauerstoff in Berührung kommen, Kohlensäure gebildet wird. Die Ansicht von der Bildung von Wasser im Organismus ist ebenfalls keine ungegründete Hypothese mehr; viele Erfahrungen beweisen uns, dass organische Stoffe beim Contakte mit Sauerstoff ausser Kohlensäure auch eine gewisse Quantität Wasser zu bilden vermögen. *Boussaingault* hat in neuester Zeit durch Vergleichung der von einem Vogel in Nahrung und Getränk aufgenommenen Wassermenge mit dem, durch sämmtliche Excretionen ausgeschiedenen Wasser wahrscheinlich gemacht, dass in der That nicht alles, aus dem Körper austretende Wasser in den Ingestis präformirt ist.

Doch ist gerade diese Untersuchung des vortrefflichen Chemikers nicht geeignet, die hier möglichen Einwürfe gänzlich zu beseitigen, da, abgesehen von der nicht hinreichenden Experimentenzahl, bei derselben mehrere, bei einer so delikaten Frage nothwendigen Cautele nicht beobachtet worden sind.

Die Ansicht, dass die animalische Wärme von anderen als rein physikalischen, nämlich von, dem animalischen Leben ausschliesslich zukommenden Ursachen herrühre, hat gegenwärtig kein Gewicht mehr. Die geläuterte, von aller Mystik und Romantik gereinigte Physiologie unserer Tage hat diese und ähnliche, den Fortschritt durchaus lähmenden Vorstellungen zu beseitigen vermocht.

*Dulong* und *Despretz* verglichen die Wärmequantitäten, welche ein in einem Calorimeter eingeschlossenes Thier abgiebt, mit derjenigen Wärmemenge, welche entstehen muss, wenn sich der von dem Thiere in derselben Zeit absorbirte Sauerstoff mit dem Carbon verbindet, welches in der gleichzeitig ausgeathmeten Kohlensäure enthalten ist. Nach *Despretz* entstehen dadurch 59 % der von dem Thiere überhaupt abgegebenen Wärme. Da nun, wie schon seit *Lavoisier* bekannt war, durch die Respiration mehr Sauerstoff absorbirt wird, als in der ausgeathmeten Kohlensäure enthalten ist, so liess man diesen Ueberschuss von Sauerstoff an den Wasserstoff der Organe treten und stellte also in dieser Wasserbildung mit Recht eine zweite Wärmequelle im thierischen Körper auf, welche, wegen der bedeutenden Heizkraft des Wasserstoffes, verhältnissmässig sehr grosse Wärmequantitäten erzeugen muss.

*Dulong* fand nun, dass die *Lavoisier*'sche Hypothese über die Oxydation des Carbons und Hydrogens der organischen Moleküle $^3/_4$ — $^4/_5$, ja *Despretz* sogar, dass sie $^7/_{10}$ — $^9/_{10}$ der Wärme, die das Thier abgiebt, erklärt. Sie liessen sich aber nicht zu dem Irrthume verleiten, desshalb noch andere, den organischen Körpern durchaus eigenthümliche Wärmequellen anzunehmen. Sie sprachen im Gegentheile die Vermuthung aus, dass die fehlenden Wärmequantitäten vielleicht von den übrigen, im Körper vor sich gehenden, den Stoffwandel constituirenden, chemischen Um-

setzungen herrühren und dass auch einige rein physikalische Momente, z. B. die Reibung der Theile hier von Wirksamkeit sein möchten, eine Ansicht, die von jeher unter den Aerzten und Physiologen Anhänger gefunden hat. Gegen die letztere Vermuthung ist aber zu erinnern, dass die Reibung im Körper und die dadurch allenfalls entstehende Wärme unzweifelhaft sehr unbedeutend ist, dass jeder Anlass dazu, zur Schonung der Organe möglichst vermieden werden musste, und dass der vermehrte Blutzufluss und der energischere Stoffwechsel, den wir bei jeder stärkeren Thätigkeitsäusserung der Organe, z. B. der Muskeln, bemerken, zur Erklärung der unter diesen Umständen immer erfolgenden stärkeren Wärmebildung vollkommen hinreicht.

Die Gegner der chemisch-physicalischen Theorie der thierischen Wärme pflegen sich nicht selten gerade auf die Experimente der genannten französischen Physiker zu berufen, um die Unhaltbarkeit der chemischen Ansicht darzuthun. Es wäre sehr unnöthig, auf die Scheingründe einzugehen, die man zu Gunsten einer den Thieren eigenthümlichen Wärmequelle angeführt hat. Die Unvollkommenheit der Experimente war übrigens nicht im Stande, die heller sehenden Physiologen von ihrer Ansicht abzubringen, welche durch die gewichtige Autorität *Liebig's* neue Unterstüzung erhalten hat. Derselbe nahm den alten, streitigen Gegenstand wieder auf und läugnete nicht nur die Existenz einer nach den bekannten physikalischen Gesetzen unerklärlichen Ursache von Wärmebildung im Thierkörper, sondern suchte auch speciell darzuthun, dass die Wärme, welche *Dulong* und *Despretz* in ihren Versuchen erhalten hatten, durchaus der Theorie von *Lavoisier* entspreche, und dass nur einige, namentlich die Verbrennungswärme des Carbons und Hydrogens betreffende, Correctionen nöthig seien, um die Theorie mit dem Experimente in Einklang zu bringen. Die Heizkraft von 1 Gewichtstheil Hydrogen ist nämlich, zufolge der, erst in neuerer Zeit bekannt gewordenen nachträglichen Untersuchungen *Dulong's* 34743°, und weder 21375°, wie *Lavoisier*, *Laplace* und *Dulong* selbst, in seiner früheren Arbeit, noch 23640°, wie *Despretz* angenommen hat. Ferner muss, nach *Liebig*, die Verbrennungswärme des Carbons, statt auf 7237° (*Lavoisier*, *Laplace*,

*Dulong*) oder 7815° (*Despretz*), auf 8558° angeschlagen werden *). Unter diesen Voraussetzungen berechnet sich in den Versuchen von *Dulong* die aus der Oxydation des Kohlenstoffes und Wasserstoffes entstehende Wärmemenge, statt 75%, auf 96% von der überhaupt abgegebenen Wärme, und die *Despretz*'sche Zahl wird von 81% ebenfalls auf 96%, dagegen bei der älteren Annahme über die Heizkraft des Carbons auf 92% erhöht.

Würde nun das Experiment auch vollständig mit der Theorie von *Lavoisier* stimmen und würden unsere Annahmen über die Heizkraft des Wasserstoffes und Kohlenstoffes ganz exakt sein, so wäre doch, wie ich in Folgendem glaube darthun zu können, der Beweis noch keineswegs geliefert, dass die Oxydationserscheinungen im Körper genau in der geschilderten Weise vor sich gehen. Ich brauche kaum zu bemerken, dass ich hier nicht gegen die ewig wahren Principien der chemischen Theorie streite, für deren Gültigkeit die bedeutendsten Gewährsmänner sprechen, und die allein schon den Namen *Lavoisier's* unsterblich machen würde, sondern dass ich nur gegen die speciellere Durchführung derselben, wie sie von ihrem Urheber selbst, und später von *Dulong*, *Despretz* und *Liebig* vorgetragen worden ist, einige Bedenken habe.

Diese Physiker haben die animalische Wärme aus der Quantität des inspirirten Sauerstoffes in der Art bestimmt, dass sie sämmtliches, in der ausgeathmeten Kohlensäure enthaltene Oxygen aus der atmosphärischen Luft in den Organismus treten und sich daselbst mit dem Carbon der organischen Moleküle verbinden liessen; während der überschüssige, zur Kohlensäurebildung nicht gebrauchte Sauerstoff zur Oxydation des Hydrogens der Organe verwendet werde. Wäre dieses wirklich genau der Fall, so würde die

*) *Liebig* gelangte zu dieser Zahl auf indirektem Wege, mittelst Benützung der über die Verbrennungswärme des ölbildenden Gases, des Alcohols und Aethers erhaltenen Thatsachen, indem er die Verbrennungswärme, die dem Hydrogen angehört und die durch direkte Versuche mit Wasserstoffgas bereits hinreichend genau ermittelt ist, von der Summe der Verbrennungswärme der Bestandtheile abzog und so die Verbrennungswärme des Kohlenstoffdampfes erhielt. (Annalen der Chemie von *Wöhler* und *Liebig*. 1845. Januar.)

Frage über die thierische Wärme, nach gehöriger Erforschung der Heizkraft des Wasserstoffes und Kohlenstoffes, sehr leicht zu entscheiden sein. Der Gegenstand scheint aber doch so gar einfach nicht zu sein, wie man sich vorgestellt hat.

Wenn es nämlich auch nicht dem geringsten Zweifel unterliegt, dass ein Theil des inspirirten Sauerstoffes zur Bildung der Kohlensäure, und ein anderer zur Bildung von Wasser verwendet wird, *so haben wir doch keine völlige Gewissheit darüber, dass das inspirirte Oxygen genau in dem oben angenommenen Verhältnisse zur Wasser- und Kohlensäurebildung dient.* Eine Wasserbildung und mit ihr eine Erzeugung der Wärme ist nämlich auch dadurch noch möglich, dass ein Theil des in den Nahrungsmitteln aufgenommenen und in die Substanz der Organe übergegangenen Sauerstoffes auf den Wasserstoff der Organe bei der Umbildung der letzteren oxydirend wirkt.

In den Nahrungsmitteln nehmen wir, wenn, was sich von selbst versteht, von dem Wassergehalte derselben abgesehen wird, bedeutende Mengen von Sauerstoff auf. Es bestehen z. B. die Proteinsubstanzen fast zu einem Viertel, das Amylum fast zur Hälfte aus Sauerstoff, welcher, wenn wir alle möglichen Fälle aufzählen, in folgenden Formen wieder ausgeführt werden kann: 1) in Form von Wasser, 2) als Kohlensäure und 3) in den unorganischen, vorzüglich aber in den organischen Bestandtheilen des Harnes. Die auf letzterem Wege ausgeführten Sauerstoffquantitäten sind sehr gering, so dass wir sie kaum in Anschlag zu bringen haben, indem sie kaum 12 Gramme im Tage betragen. Würde nun sämmtlicher, aus den verschiedenen Nährstoffen in die Substanz der Organe übergegangene Sauerstoff während des Umsetzungsprocesses sich mit den verbrennlichen Elementen der organischen Moleküle vereinigen, was durchaus nicht der Fall ist, so müsste, da bereits der, durch die Athemorgane in den Körper aufgenommene Sauerstoff die Quelle grosser Wärmequantitäten ist, eine sehr viel bedeutendere Wärmemenge entstehen, als das Experiment nachgewiesen hat. Es sprechen indessen schon jetzt mehrere Thatsachen dafür, dass nur ein Theil des in der Nahrung enthaltenen Sauerstoffes, wenn derselbe ein Bestandtheil der Organe geworden ist, neue Umsetzun-

gen erfährt und zur Oxydation der brennbaren Elemente der Organe verwendet wird; dass dagegen ein anderer Theil wahrscheinlich schon im verbrannten Zustande in den Organismus eingeführt wird und demnach keine Heizkraft, keinen Antheil an der Wärmebildung mehr hat. So fällt es auf, dass in nicht wenigen Stickstofflosen Nahrungsmitteln, z. B. in dem Amylum, den Zuckerarten, dem Gummi, der Sauerstoff und Wasserstoff genau in demselben Verhältnisse, wie im Wasser enthalten sind. Es ist nicht ganz unwahrscheinlich, dass in diesen Substanzen die Wasserbildung bereits erfolgt ist, während in denjenigen Nährsubstanzen, resp. Bestandtheilen der Organe, in welchen der Kohlenstoff und Wasserstoff nicht in dem Verhältnisse der Wasserbildung vorhanden ist, diese Elemente sich sämmtlich oder doch theilweise während der Umsetzung vielleicht so gruppiren, dass eine Wasserbildung und folglich eine Erzeugung von Wärme stattfindet.

Ferner ist vielleicht auch ein Theil des in der Nahrung aufgenommenen Carbons und Oxygens schon in dem Verhältnisse, wie in der Kohlensäure gruppirt, so dass derselbe zur Bildung von Wärme nicht mehr beitragen kann.

Die uns eben beschäftigende Frage über das Verhältniss der Kohlensäure- und Wasserbildung zu der animalischen Wärme ist übrigens so schwieriger Natur, dass wir hierüber vorerst bloss Vermuthungen wagen dürfen. Wenn ich nun auch den so eben mitgetheilten Erörterungen, hinsichtlich ihrer specielleren Durchführung, wenig Werth beilegen kann, so darf ich doch nicht unterlassen, auf den Grundgedanken derselben und die hieraus sich ergebenden freilich grösstentheils negativen Consequenzen nochmals aufmerksam zu machen.

1) Es ist nicht bewiesen, dass *sämmtliche* ausgeathmete Kohlensäure durch Vereinigung des eingeathmeten Sauerstoffes und des Carbons der Organe entsteht.

2) Es ist ebensowenig erwiesen, dass bloss derjenige Theil des inspirirten Sauerstoffes zur Wasserbildung verwendet wird, welcher noch übrig bleibt, wenn man den, in der ausgeathmeten Kohlensäure enthaltenen Sauerstoff von dem, überhaupt eingeathmeten Sauerstoff abzieht.

3) Es ist wahrscheinlich, dass auch ein, vorerst freilich nicht bestimmbarer, Theil des in der Nahrung enthaltenen Sauerstoffes im Organismus zur Bildung von Wasser verwendet wird.

4) Dasselbe gilt wohl auch von einem anderen Theile des in den Nährstoffen enthaltenen Oxygens hinsichtlich der Kohlensäurebildung.

5) Es ist vielleicht sogar möglich, dass ein Theil der ausgeathmeten Kohlensäure nicht erst durch Oxydation von Carbon innerhalb der Sphäre des Organismus entstanden ist.

6) Wenn nun höchst wahrscheinlich im Organismus keine andere, in Betrachtung kommende Quelle von Wärme existirt, als die Oxydation des Wasserstoffes und Kohlenstoffes der organischen Moleküle, so sind wir doch über das gegenseitige Verhältniss dieser Wasser- nnd Kohlensäurebildung nicht im Reinen, sodass wir auch den Antheil, welcher sowohl der Oxydation des Carbons, als derjenigen des Wasserstoffes, bei der Erzeugung der animalischen Wärme zukommt, vorerst nicht vollkommen genau zu würdigen im Stande ist.

Endlich ist die Anwendbarkeit der, über die Heizkraft des Wasserstoffgases und der Kohle angestellten Experimente auf die Verhältnisse im Organismus noch nicht ausser Zweifel gestellt. Die Heizkraft des Wasserstoffgases ist, wegen der enormen Wärmecapacität desselben, sehr gross, sodass bei der Wasserbildung aus Sauerstoff- und Wasserstoffgas höchst bedeutende Mengen von Wärme frei werden müssen. Es ist nun keinem Zweifel unterworfen, dass das in den organischen Molekülen befindliche Hydrogen in einem ganz anderen Aggregatzustande sich befinden und desshalb eine geringere Wärmekapacität haben muss. Da nun die Wärmekapacität des Körpers, nach *Crawford*, im Mittel 0,8 beträgt (wenn diejenige des Wassers = 1 ist), wogegen die des Wasserstoffgases sich auf 3,29 beläuft, so muss bei der Wasserbildung aus einem organischen Molekül nothwendig eine geringere Menge von Wärme frei werden. Es scheint demnach noch nicht erwiesen zu sein, ob wir die, über die Verbrennungswärme des Wasserstoffgases bekannt gewordenen Thatsachen ohne Weiteres unmittelbar auf die Verhältnisse des Organismus übertragen dürfen. —

Wie dem auch sein mag, so geht doch aus obigen Betrachtungen hervor, dass unser Gegenstand im Augenblick noch nicht erledigt und über alle Zweifel erhaben ist. Gerne hätte ich wenigstens einen Theil der hieher gehörenden Fragen auf experimentellem Wege untersucht, wenn mir die dazu nöthigen mannigfaltigen und zum Theile sehr kostspieligen Hülfsmittel zu Gebote gestanden wären. —

Dem Körper wird auf sehr verschiedene Weise Wärme entzogen: 1) durch die Respiration; 2) durch die Haut; sowohl durch ihren Contakt mit der kälteren Atmosphäre, als auch in Folge der auf derselben stattfindenden Wasserverdünstung; 3) durch die sogenannten sensibeln Ausscheidungen.

Ueber die gegenseitigen Verhältnisse dieser verschiedenen Abkühlungsmomente haben wir zur Zeit eine leider nur sehr unvollkommene Vorstellung; wahrscheinlich spielen hier die äusseren Bedeckungen die wichtigste Rolle. Der durch letztere vermittelte Wärmeverlust wird sehr vermehrt durch Waschen und Baden in kaltem Wasser. Genauere Untersuchungen werden später ergeben, dass die dadurch dem Körper entzogene Wärmemenge sehr bedeutend ist, und dass der hauptsächlichste Nutzen kalter Bäder in der warmen Jahreszeit darin besteht, dass dem Körper Gelegenheit zur vermehrten Wärmeausscheidung geboten wird, welche sonst wegen der höheren Temperatur der Atmosphäre eine Hemmung erleiden müsste. Ebenso müssen die in der warmen Jahreszeit instinktmässig aufgenommenen kühlen Getränke, wenn sie durch die verschiedenen Excretionen wieder ausgeschieden werden, dem Körper namhafte Wärmequantitäten entziehen. Das als Getränk aufgenommene kalte Wasser scheint in der That vorzugsweise dazu zu dienen, um die in der warmen Luft durch die gewöhnlichen Abkühlungsmomente auf unzureichende Weise erfolgende Ausscheidung der Wärme zu ergänzen.

Untersuchen wir jetzt den Antheil, welcher der Respiration bei der Abkühlung des Körpers zukommt. Wir gehen von dem in einer Minute exspirirten, im Mittel 6034 Kub. Cent. (von + 37° C.) betragenden Luftvolum aus, und benützen die in der Tabelle, Seite

153 (Rubrik c) enthaltenen Thatsachen über die in einer Minute bei verschiedenen Temperaturen ausgeathmeten Luftvolumina.

Folgende Tabelle stellt den Wärmeverlust des Körpers dar, der durch die Erwärmung der bei verschiedenen Temperaturen eingeathmeten Luft auf + 37° C. bedingt wird:

| a. Lufttemperatur (nach Cels.) | b. Ausgeathmete Luft, reduc. auf + 37° C. | c. Eingeathmete Luft, reduc. auf die jedesmalige Temperatur der atmosphärischen Luft. | d. Gewicht der inspirirten Luft, in Grammen. | e. Temperaturunterschied der ein- und ausgeathmeten Luft. | f. Ausgeschiedene Wärme. |
|---|---|---|---|---|---|
| | in Kub. Cent. reduc. auf 336 par. Lin. Barom. | | | | |
| 4° | 6634 | 5827 | 74,40 | 33° | 6,13 |
| 9° | 6334 | 5680 | 71,23 | 28° | 4,98 |
| 14° | 6034 | 5522 | 68,04 | 23° | 3,91 |
| 19° | 5734 | 5353 | 64,82 | 18° | 2,91 |
| 24° | 5434 | 5234 | 62,30 | 13° | 2,02 |

Die Zahlen in Rubrik f. geben an, wieviel Gramme Wasser die in 1 Minute dem Körper durch die Ausathmungen entzogene Wärmemenge um 100° zu erwärmen im Stande ist *). Ein weiteres, von Manchen überschätztes, Abkühlungsmoment ist in der Abdünstung des Wassers enthalten.

Ein Gramm Wassergas von + 37° Wärme besitzt (da die Wärmecapacität des Wassergases zu derjenigen des Wassers sich wie 0,847 : 1 verhält) soviel Wärme, dass dadurch 0,3135 Gramme

*) Von den geringen Unterschieden in der Wärmekapacität des Sauerstoffes, Stickstoffes und der Kohlensäure glaube ich füglich absehen zu dürfen; der dadurch entstehende Rechnungsfehler ist hier ohne alle Bedeutung. Ich nehme in obiger Berechnung die Wärmekapacität der atmosphärischen Luft als ¼ von derjenigen des Wassers an. Sollen z. B. 74,40 Gramme Luft um 33° erwärmt werden, so ist dieselbe Wärmemenge nöthig, wodurch 74,40 Gramme Wasser um $\frac{33°}{4} = 8°,25$, oder 6,13 Gramme Wasser um 100° erwärmt werden.

Wasser von 0° auf 100° erwärmt werden. Berechnen wir nun die Wärmemengen, welche in den Wasserquantitäten enthalten sind, die sich in der bei verschiedener Temperatur innerhalb einer Minute exspirirten Luft befinden und drücken wir dieselben ebenfalls in der Art aus, dass wir die Gewichtsmengen von Wasser in Grammen bestimmen, welche dadurch um 100° erhöht werden können, so erhalten wir folgende Ergebnisse:

| Temperatur. | Wärmemenge *). |
|---|---|
| 4° | 0,087 |
| 9° | 0,081 |
| 14° | 0,078 |
| 19° | 0,075 |
| 24° | 0,069 |

Da auch die eingeathmete Luft immer etwas Wassergas von ihrer eigenen Temperatur mit sich führt, so sind diese Zahlen noch nicht der genaueste Ausdruck des Wärmeverlustes, welchen der Körper durch die Wasserverdünstung auf der Schleimhaut der Respirationsorgane erleidet. Die in Abrechnung zu bringende Grösse ist aber so unbedeutend, dass sie hier nicht in Betrachtung kommt.

Die eingeathmete Luft wird, da sie bei weitem dem grössten Theile nach in den oberen Parthieen der Athemorgane verbleibt, wie leicht einzusehen, besonders von der die Wandung der letzteren bildenden Schleimhaut erwärmt, sodass, abgesehen von ganz positiven Gegenbeweisen, die erst neuerdings wieder ausgesprochene Ansicht nicht gegründet ist, dass das in dem Capillarsysteme der Lungen circulirende Blut bei der Respiration abgekühlt wird. Im Verhältniss zu der Wärmemenge, welche in dem durch die Lungencapillaren fliessenden Blute enthalten ist, ist der durch die Respiration vermittelte Wärmeverlust so gering, dass eine, bloss dadurch bedingte, etwaige Differenz in der Wärme des Lungenarterien- und des Lungenvenenblutes unmöglich nachgewiesen werden könnte.

Erwägen wir, dass die Schleimhaut der Nase und der Luftröhre

*) Man sehe hinsichtlich des bei den verschiedenen Temperaturen exspirirten Wassers die Tabelle Seite 153.

als eines der Abkühlungsorgane des Körpers eine wichtige Verrichtung zu erfüllen hat, und dass der Organismus von den Temperatureinflüssen der Aussenwelt, wie wir bei unseren Beobachtungen über den Einfluss der Lufttemperatur auf die respiratorischen Funktionen erfahren haben, in hohem Grade abhängig ist, so haben wir hinreichende Ursache, um die in der gemässigten und in der kalten Zone so ausserordentlich häufigen Erkrankungen dieser Parthie des Respirationsapparates zu erklären.

Nach *Becquerel* werden in 24 Stunden 1267 Gramme Urin abgeschieden, also in einer Minute 0,879 Gramm. Setzen wir die Wärmekapacität des Harnes und des Wassers gleich (ein Fehler, der hier nicht von Bedeutung ist), so beträgt die dem Körper in einer Minute durch den Urin entzogene Wärmemenge so viel, dass dadurch 0,325 Gramm um 100° erwärmt werden können. —

Aus den obigen Untersuchungen resultirt: 1) dass der durch die Respiration bedingte Wärmeverlust bei vollkommen ruhigem Athmen in einer Luft von + 4° 3mal stärker ist als bei + 24°. 2) Bei vollkommen ruhigem Athmen einer Luft von + 14° verhält sich der, durch das Abdunsten des exspirirten Wassers verursachte Wärmeverlust zu der Wärmequantität, welche durch einfache Erwärmung der eingeathmeten Luft dem Körper entzogen wird wie 1 : 50. 3) Durch Erwärmung der bei 14° durch ruhige Inspirationen eingeathmeten Luft wird dem Körper 10 mal mehr Wärme entzogen als durch die Harnausscheidung, welches Verhältniss jedoch etwas verändert wird, und zwar zu Gunsten der Harnausscheidung, wenn wir die Angaben anderer Physiologen über die täglich ausgeschiedene Urinmenge zu Grunde legen.

Nach *Despretz* bildet 1 Gramm Kohlenstoff beim Verbrennen soviel Wärme, dass dadurch 78,15 Gramme Wasser in 100° erwärmt werden. Da ich im vollkommeu ruhigen Zustande im Mittel 0,1236 Gramme Carbon in einer Minute ausathme, so kann die durch die Kohlensäurebildung in dieser Zeit entstehende Wärme 9 7/10 Gramme Wasser um 100° erwärmen. Da aber die, bei einem abwechselnd im Zustande der Ruhe und der mässigen Anstrengung sich befindenden Individuum, in 24 Stunden überhaupt ausgeathmete Kohlensäure-

menge wenigstens um $^1/_3$ grösser ist, als diejenige, welche im Zustande der vollkommensten Ruhe in derselben Zeit exspirirt wird, so müssen wir annehmen, dass die durch die Kohlensäurebildung beim erwachsenen Menschen in einer Minute im Mittel entstehende Wärmemenge wenigstens 13 Gramme Wasser um 100° erwärmen kann, falls wir überhaupt, woran sehr zu zweifeln ist, auf eine derartige Berechnung grossen Werth legen dürfen.

Da nach *Crawford* die Wärmekapacität des Körpers im Mittel 0,8 beträgt, so ist, wenn wir alle Körpertheile auf + 37° erwärmt annehmen, in einem, 59 Kilogramme schweren Körper soviel Wärme enthalten, um 17464 Gramme Wasser um 100° zu erwärmen. Vergleichen wir diese Zahl mit der, sowohl durch das Athmen, als überhaupt ausgeschiedenen Wärmemenge, so ergiebt sich, dass unser Organismus als grosses Wärmemagazin recht leicht eine momentane, ziemlich bedeutende Steigerung oder Hemmung in der Ausscheidung der Wärme erleiden kann, ohne dass dadurch auf das Thermoscop ein merklicher Einfluss erfolgt.

---

## Elftes Kapitel.

*Der Einfluss der Nahrungsmittel auf die Respiration.*

Die Ausscheidung der unbrauchbar gewordenen Stoffe entspricht im gesunden Leben genau der Aufnahme der Nahrungsmittel. Jeder Verlust an Stoffen von Seiten der Organe bedingt eine adäquate Aufnahme von neuem Bildungsmaterial aus dem Blute, und der rapide Substanzverbrauch im Blute selbst wird theils direkt ersetzt durch Aufnahme gewisser Portionen des Inhaltes des Nahrungsschlauches, theils durch Uebergang von Chylus und Lymphe in das Blut.

Der Uebergang von Nahrungsmitteln in die Säftemasse erfolgt nicht continuirlich; wir dürfen ungefähr annehmen, dass diese Funktion etwa ein Viertheil des Lebens hindurch thätig ist, wäh-

rend die Ernährung des Blutes und der Organe, überhaupt der gesammte Stoffwechsel, keinen Augenblick stille steht, indem ein Leben ohne diese Vorgänge nicht denkbar ist.

Während des Aktes der Verdauung tritt, wie wir früher gesehen haben, eine sehr bedeutende Vermehrung in der Energie sämmtlicher respiratorischen Funktionen ein, welches die Folge des jetzt vermehrten Gehaltes des Blutes an Nährsubstanzen ist. Man hat im Blute während der Verdauung eine Zunahme von Körperchen und von Fibrin gefunden, deren nächste Folge eine Vermehrung der Exosmose aus dem Blut in das Parenchym, überhaupt eine vermehrte Wechselwirkung zwischen dem Blute und den Organen, also auch eine stärkere Ausscheidung der unbrauchbar gewordenen Stoffe aus dem Parenchyme in das Blut und von da in die Excretionsorgane sein muss.

Unsere Erfahrung über die bedeutende Vermehrung der Kohlensäure während der Verdauung steht nicht als isolirte Thatsache da; die übrigen Excretionsstoffe verhalten sich unter denselben Umständen ebenso. Man fand namentlich eine Vermehrung der Harnsäure und des Harnstoffes während der Verdauung; pathologische Ausscheidungen, wie diejenige des Zuckers, werden während der Verdauungszeit ausserordentlich verstärkt. Proteinreiche Nahrungsmittel bedingen ebenfalls, wie *Lehmann* zeigte, eine stärkere Ausscheidung der organischen Harnbestandtheile, als solche, die wenig Protein enthalten. Alle diese Thatsachen lassen sich auf die so eben versuchte, höchst einfache Weise ungezwungen erklären und in gegenseitigen Zusammenhang bringen.

Dieser während der Verdauung erfolgenden Zunahme von Nährstoffen im Blute ist jedoch, wie die Erfahrung zeigt, eine Grenze gesetzt, was durchaus nöthig ist, wenn die Blutmischung nicht allzu schnell bedeutende Veränderungen erleiden und zugleich verhütet werden soll, dass die Exosmose in das Parenchym der Organe, so wie die derselben entsprechende Bildung von Excretionsstoffen, also namentlich der Kohlensäure, mit übermässiger Energie erfolge. Eine bloss die Verdauungszeit hindurch währende, rapide Stoffaufnahme der Organe würde, da die progressive und regressive Metamorphose im gesunden Leben im Allgemeinen be-

ständig im Gleichgewichte bleiben, eine entsprechende Ausscheidung der Excretionsstoffe bedingen; nach beendeter Verdauung würden die Organe, ausser von den im Blute in nicht ausreichender Menge enthaltenen plastischen Bestandtheilen keine weiteren Stoffe aufnehmen können.

Es war desshalb ein eigener Apparat nöthig, der, (abgesehen von anderen, höchst wichtigen Funktionen) den aufgenommenen Nahrungsmitteln als Reservoir dienen muss. Das *gesammte System der Lymphgefässe* erfüllt diesen Zweck. Wenn ein Theil, oder vielleicht richtiger gewisse Bestandtheile der gelösten Nahrungsmittel direkt aus dem Magen und dem Dünndarme in die Chylusgefässe übergehen, so gelangt, wie durch das Experiment erwiesen ist, ein anderer Theil unmittelbar in das Blut. Das Blut erfährt demnach während der Verdauung auf zweifache Weise eine Vermehrung seiner Bestandtheile; einmal durch Uebergang von Stoffen in die Capillaren des Magens und der dünnen Gedärme, und ferner durch Aufnahme einer gewissen Portion von Chylus.

Es kann aber nur eine, den schon früher dargestellten Gleichgewichtsverhältnissen zwischen dem Blut und den Organen entsprechende Menge von Bestandtheilen des Blutes in das Parenchym der Organe übergehen; eine weitere Quantität tritt aus dem Blute in die Lymphgefässe über, um — wahrscheinlich nach theilweisen Veränderungen — später durch den Milchbrustgang wieder in das Blut zu gelangen. Dieser Uebergang von Stoffen aus den Blutgefässen in die Lymphgefässe wird durch die Differenzen des Inhaltes beider Gefässsysteme bedingt. Die Richtigkeit obiger Ansicht über die Funktion des Lymphgefässsystemes wird besonders dadurch erwiesen, dass während des Aktes der Verdauung nicht allein die Chylusgefässe, sondern auch sämmtliche Lymphgefässe stärker gefüllt sind. *Herbst* hat unter den genannten Verhältnissen eine starke Füllung nicht nur der Lymphgefässe des Unterleibes, sondern *aller* Saugadern überhaupt, beobachtet; ferner fand derselbe, wenn er thierische Flüssigkeiten in die Venen in verschiedenen Quantitäten einspritzte, dass das *gesammte* Lymphgefässsystem in kürzester Zeit ungewöhnlich stark angefüllt war und zwar in geradem Verhältnisse zu der

Quantität der in die Venen infundirten Flüssigkeit *). Auf diese Weise ist das Blut fähig, von Neuem aufgelöste Nahrungsmittel, und zwar offenbar *in grösseren Quantitäten in sich aufzunehmen, als bloss dem momentanen Nahrungsbedürfnisse der Organe entspricht* und die Lymphgefässe mit Stoffen zu füllen, welche nicht unmittelbar, sondern erst *später*, den Zwecken des Organismus gemäss, verwendet werden.

Zur genaueren Untersuchung der mannigfaltigen Funktionen des Lymphsystemes ist hier nicht der Ort. Ich musste vorläufig nur so viel berühren, um zu zeigen, auf welche einfache Weise die Natur die Aufgabe gelöst hat, innerhalb einer verhältnissmässig kurzen Zeit in die Säftemasse sämmtliche Nahrung überzuführen, und warum während der Verdauung der Vermehrung der nährenden Bestandtheile des Blutes, sowie der Exosmose aus dem Blute in die Organe eine Grenze gesetzt werden musste durch ein eigenes System, welches das überschüssige Bildungsmaterial vorläufig aufnimmt, dasselbe zum Theil weiter ausbildet und auf diese Weise die wichtige Rolle übernimmt, einen Theil der Nährsubstanzen des Organismus vor zu schneller Oxydation zu schützen.

Spätere Fortschritte in der Physiologie des Blutes und des Athmens werden ohne Zweifel zeigen, dass diejenigen Nahrungsmittel, welche die meisten Proteinsubstanzen enthalten und die desshalb nothwendig zu einer Vermehrung der Proteinsubstanzen im Blute Anlass geben müssen, eine stärkere Ausscheidung von Kohlensäure bedingen, als solche, die weniger Protein enthalten.

*Liebig* hat die Proteinhaltigen Nährstoffe bekanntlich *plastische Nahrungsmittel* genannt und angenommen, dass dieselben ausschliesslich in die Substanz des Blutes und der Organe übergehen können. Eine grosse Menge anderer Nahrungsmittel, nämlich die Stickstofflosen, fasst er unter dem gemeinschaftlichen Namen der *Respirationsmittel* zusammen, indem er behauptet, dass sie, unfähig, Bestandtheile der Organe und des Blutes zu werden, zur Unterhaltung des Respirationsprocesses und zur Entstehung der ani-

*) *Herbst*, das Lymphgefässsystem und seine Verrichtung, Göttingen 1844. S. 8, 59 und 360.

malischen Wärme dienen und verhindern, dass der inspirirte Sauerstoff sich der Bestandtheile der Organe bemächtige.

Jedenfalls spielen diese beiden Klassen von Nahrungsmitteln, wie schon durch *Magendie* und durch *Gmelin* und *Tiedemann* bewiesen ist, bei der Ernährung sehr verschiedene Rollen, woraus wir, da die Ernährung mit dem Respirationsprocesse auf das Genaueste zusammenhängt, schon von vorne herein schliessen müssen, dass dieselben mittelbar bei der Aufnahme und Ausscheidung der Gase auf verschiedene Weise betheiligt sind.

Jene Annahme von *Liebig* hat von Seiten der Physiologen mehrfache Entgegnungen gefunden. Eine genauere Kritik wird ihr dem Wesentlichen nach beistimmen müssen, ohne dass sie sich jedoch der speciellen Durchführung derselben, sowie einigen damit in Zusammenhang stehenden Behauptungen anschliessen kann. Wie *Lavoisier's* Respirationstheorie in ihrer detaillirten Ausführung gegenwärtig nicht mehr genügt, indem sich mehrere, seither gemachten Erfahrungen mit derselben nicht vereinigen lassen, obgleich die ihr zu Grunde liegende Ansicht unerschütterlich feststeht, so scheint es auch mit einigen, in der Epoche machenden Schrift „*die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie*" vorgetragenen Theorieen der Fall zu sein. Die Ansichten, welche *Liebig* in jenem Werke über das Athmen und die Ernährung in grossen, oft ganz allgemein gehaltenen Umrissen niedergelegt hat, mussten das eigenthümliche Schicksal erfahren, von Manchen durchweg für buchstäblich wahr, dagegen von Anderen für eine durchaus unzulässige und gewagte Uebertragung chemischer Thatsachen auf die Verhältnisse des Organismus gehalten zu werden. Die unpartheiische und vorurtheilslose Kritik hat aber die Aufgabe, aus einem Werke, in welchem — was bei weitem die Hauptsache ist — *die Methode der Medicin und Physiologie*, *die Philosophie der Forschung* einen grossen und entschiedenen Fortschritt gemacht hat, die allgemeinen Grundwahrheiten von gewissen, mit der speciellen Durchführung verwebten und mit constatirten Erfahrungen der Physiologie und Pathologie unvereinbaren, oft sogar unwesentlicheren Zusätzen sorgfältig zu unterscheiden.

Die Ansicht, welche *Liebig* über die Bestimmung der Stickstofflosen Nahrungsmittel, z. B. des Zuckers, des Gummi's, des Fettes, der Weingeisthaltenden Substanzen u. s. w. aufgestellt hat, scheint vorzugsweise hierher zu gehören. Genau wörtlich genommen, in der Weise, wie sie ihr berühmter Autor vorgetragen hat, lässt sie sich nicht wohl durchführen und zwar, wie ich mir zu behaupten erlaube, aus folgenden Gründen:

Erstens ist die, in dem angegebenen Sinne gemachte Unterscheidung in plastische und in Respirationsmittel, trotz der grossen Verschiedenheiten derselben nicht gerechtfertigt. Wir wollen hier nur eines dieser Respirationsmittel, nämlich des Fettes, dessen Bedeutung für den Organismus verhältnissmässig noch am besten bekannt ist, erwähnen. — Die von *Liebig* angeregte, so wichtig gewordene Discussion über die Erzeugung des Fettes im thierischen Körper hat zu dem Resultate geführt, dass man jetzt nothwendig einen unveränderten Uebergang des in der Nahrung enthaltenen Fettes in den Organismus annehmen muss, ohne jedoch die Entstehung sehr bedeutender Fettquantitäten aus Nahrungsmitteln, die gar kein Fett präformirt enthalten, läugnen zu können. Die Fette sind im Blute, wie in den Organen, theils chemisch gebunden, theils als eigener Gewebtheil enthalten, und wir müssen wenigstens die chemisch gebundenen nicht minder unter die Bestandtheile der Organe zählen, wie die Proteinsubstanzen, und desshalb diejenigen Nahrungsmittel, welche Fette enthalten, ebenso als plastische, d. h. in die Substanz der Organe übergehende, ansehen, als diejenigen, die bloss aus Proteinsubstanzen bestehen. Wenn nun auch in der That das mit den Organen chemisch verbundene Fett vorher oxydirt würde, ehe der inspirirte Sauerstoff sich der Proteinverbindungen bemächtigt, so müssten die Organe dadurch nicht minder einen Stoffverbrauch erleiden, als wenn ihre Proteinbestandtheile in gleicher Weise, wie ihre Fette an der Umsetzung Theil nähmen.

Zweitens findet ein übermässiges, den Zuständen der Organe nicht entsprechendes Eindringen von Sauerstoff in das Blut in der That nicht statt. Wir haben beim Studium der merkwürdigen und höchst einfachen Gesetze, nach welchen der Gasaustausch bei

der Respiration vermittelt wird, die Ueberzeugung gewonnen, dass die Aufnahme des Sauerstoffes nicht in jedem Verhältnisse erfolgt; dass derselben Grenzen gesetzt sind, die durch eine sinnreiche und ökonomische Einrichtung dem jedesmaligen Respirationsbedürfnisse genau entsprechen. Es dringt demnach kein überflüssiges Atom Sauerstoff in unseren Organismus ein, um Bestandtheile desselben mit sich fortzureissen, wie *Liebig* ganz deutlich sich äussert, indem er von einer zehrenden Wirkung der Atmosphäre spricht. Die Organe bedürfen somit auch keines Schutzes vor der übermässigen Einwirkung des durch die Respiration aufgenommenen Sauerstoffes. Ausscheidung und Stoffaufnahme geschieht in der Norm nach unwandelbaren, constanten Verhältnissen. Von der Bildung der Kohlensäure im Parenchyme der Organe bis zu ihrer endlichen Ausscheidung aus den Lungen haben wir eine eng zusammenhängende Kette von Ursache und Wirkung auffinden können; wir haben gesehen, dass die Aufnahme und chemische Bindung jedes Atomes Sauerstoff in die Substanz der Organe auf die Aufnahme dieses Gases in das Blut und in die Lungen sogleich von rückwirkendem Einflusse ist und dass, wenn nicht sogleich die grössten Störungen in den bewunderungswürdigen, höchst einfachen Gleichgewichtsverhältnissen zwischen dem Blute und dem Parenchyme der Organe stattfinden sollen, nur soviel Sauerstoff in das Blut übergehen kann, als dem Respirationsbedürfnisse der Organe (wenn ich diesen Ausdruck wählen darf) entspricht.

Drittens erfolgt, wie unsere Versuche gezeigt haben, nach dem Genusse geistiger Getränke eine beträchtliche Verminderung in der Ausscheidung der Kohlensäure; eine Erfahrung, die wir wahrscheinlich auf den gesammten Stoffwechsel überhaupt ausdehnen müssen, da es bekannt ist, dass Trinker einen sehr geringen Appetit haben. Nach dem Genusse dieser, zu den sogenannten Respirationsmitteln gehörenden Substanzen erleidet demnach die Gasausscheidung eine merkliche Abnahme und es ist durchaus nicht nöthig, noch besondere Stoffe im Blute anzunehmen, welche die Organe noch mehr vor einer zu schnellen regressiven Metamorphose schützen sollen.

Viertens ist gar nicht bewiesen, dass in dem Stoffwechsel der Organe und des Blutes nicht die vollkommen hinreichende Ursache der Körperwärme enthalten sei, und dass somit zur Erklärung der letzteren noch besondere Stoffe, eigene Respirationsmittel angenommen werden müssen. Die entgegengesetzte Ansicht scheint natürlicher und einfacher zu sein, und hat noch das für sich, dass sie einen direkten, physikalisch nachweisbaren Zusammenhang zwischen dem Stoffwandel der Organe und der Wärmeerzeugung statuirt, wie es auch a priori im höchsten Grade wahrscheinlich ist. Wir sind überzeugt, dass in der Umsetzung der Organe und des Blutes, mag dieselbe langsam oder rapid vor sich gehen, hinreichende Ursache vorhanden ist, um den Körper bei seiner Temperatur zu erhalten, eine Ansicht, die freilich, ebenso wie ihre Gegenbehauptung, noch nicht durch das exakte Experiment erwiesen ist. Mit gesteigertem Stoffverbrauche ist auch eine grössere Wärmebildung und, da die Temperatur des Körpers im normalen Zustande sich fast immer gleich bleibt, nothwendig ein stärkerer Wärmeverlust verbunden; beim ruhigen Zustande ist der Wärmeverlust geringer.

Beim Mangel der Nahrung verschwindet das mechanisch abgelagerte Fett ohne Zweifel nicht auf die Weise, dass es sich direkt grossentheils in kohlensaures Gas umsetzt, denn bloss diejenigen Organe und Körpertheile zeigen einen lebhaften Stoffwechsel, welche wichtigen Funktionen als Träger dienen müssen, was von dem mechanisch abgelagerten Fette unmöglich behauptet werden kann. Es ist dasselbe ein Reservoir von Nahrungsstoff für die Organe. Wenn in Folge der Umsetzung der Organe und des Blutes der Fettgehalt derselben abgenommen hat, so wird, den Gesetzen der Endosmose gemäss, Fett in das Blut und von da in die Organe zur Ergänzung ihrer verloren gegangenen Fettmengen aufgenommen. *Erst in dieser Form, als Bestandtheil der Organe, unterliegt das Fett sodann dem allgemeinen Stoffwechsel und erleidet theilweise eine Umwandlung in Kohlensäure.*

Indem wir also die Fette als wichtige und wesentliche Bestandtheile der Organe nothwendig ansehen müssen und zugleich bedenken, dass dieselben, indem sie grossentheils in Form von Kohlensäure

austreten, zur Erzeugung der animalischen Wärme beitragen, erlauben wir uns, der *Liebig*'schen Ansicht bloss eine andere Version zu geben. Keineswegs aber können wir, aus den vorhin angeführten Gründen, die Nothwendigkeit solcher Substanzen zugeben, welche bestimmt sind, sich mit dem — wie *Liebig* annimmt — in übermässiger Quantität in den Organismus eindringenden Sauerstoffe zu verbinden, um die allzu rapide Oxydation und Umsetzung der eigentlichen Substanz der Organe zu verhindern. —

Ueber die Beziehung der Stickstofflosen Nahrungsmittel zu der Respiration können wir uns gegenwärtig keine vollständig genügende Erklärung verschaffen. Unsere Experimente haben gezeigt, dass die Ausscheidung der Kohlensäure nach dem Genusse spirituöser Getränke auf längere Zeit um die bedeutende Quantität von einem Achtel abnimmt. Von fetten und korpulenten Menschen ist ferner bekannt, dass sie im Allgemeinen ein geringeres Nahrungsbedürfniss haben als robuste Individuen, deren Körperstärke mehr eine Folge der Ausbildung des Muskelsystemes ist. Es ist offenbar ein langsamerer, minder energischer Stoffwechsel die Folge der Stickstofflosen Nahrung. Der Faserstoffgehalt des Blutes nimmt ab, wie denn auch wirklich Analysen von fettreichem Blute (das Fett mag entstanden sein, wie man will) eine Verminderung der Fibrine nachgewiesen haben. Hierin dürfen wir, da mit Abnahme der oxydabeln Bestandtheile des Blutes eine Verminderung der Sauerstoffabsorption beim Athmen verbunden sein muss, ganz bestimmt wenigstens *ein* Moment erblicken, das uns Aufschluss giebt über die merkwürdige Thatsache, dass bei fetten Menschen und nach dem Genusse von spirituösen Getränken die Kohlensäurebildung bedeutend abnimmt.

# Zwölftes Kapitel.

*Ueber die Ursache der Athembewegungen.*

Die Athembewegungen geschehen in der Regel bewusstlos und, wenigstens im gesunden und ruhigen Zustande, ohne alle Beschwerden. Sie entsprechen, sowohl hinsichtlich ihrer Tiefe als ihrer Frequenz, vollkommen dem jeweiligen Respirationsbedürfnisse des Körpers und führen, auf eine sehr zweckmässige und ökonomische Weise, nie mehr, aber auch nie weniger Kohlensäure aus den Lungen, als der Bildung der Kohlensäure im Parenchyme der Organe entspricht. Diese Uebereinstimmung zwischen der Bildung und Ausscheidung der Kohlensäure wäre bei der Organisation unserer Athemorgane und bei den so schnell wechselnden Zuständen unseres Körpers völlig unmöglich ohne die Athembewegungen. Diese sind die Regulatoren der Ausscheidung und Aufnahme der Gase, welche Processe auf eine, dem Stoffwechsel der Organe genau entsprechende Weise erfolgen.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass die Nerven, welche sich in den Organen verzweigen, in enger Beziehung zu dem, in den letzteren stattfindenden Stoffwechsel stehen, indem sie nämlich, wie die übrigen Moleküle der Organe, an der allgemeinen Umsetzung der Materie Theil nehmen. Die sensoriellen Nervenfasern müssen dadurch nothwendig, je nach der Energie, mit welcher der Stoffwechsel vor sich geht, verschiedene Eindrücke zu den Centraltheilen des Nervensystems leiten, wodurch die letzteren (mögen jene Eindrücke, je nach der Natur der Funktion und je nach dem betreffenden Organe, zum Bewusstsein kommen oder nicht) in eigenthümliche Zustände versetzt werden. Diese Zustände der Centren des Nervensystems stehen also mittelbar mit der Energie, in welcher der Stoffwechsel in den Organen erfolgt, in genauester Uebereinstimmung.

Die Nerven der Respirationsorgane zeigen in der That einen auffallenden Zusammenhang mit den Erscheinungen des Gaswech-

sels in den Lungen, indem der Kohlensäuregehalt der letzteren nur bis zu einem gewissen Grade zunehmen darf, wenn nicht sogleich Athemnoth entstehen soll. Die in den Lungen enthaltene Kohlensäure erfährt ohne die Athembewegungen eine ununterbrochene Zunahme, in deren Folge der Stoffwechsel in den peripherischen Theilen der sensoriellen Nervenfasern der Athemorgane, insofern derselbe in der Ausscheidung von Kohlensäure und in der Aufnahme von Sauerstoff besteht, eine fortwährende Verminderung erleiden muss. Dadurch empfängt der Theil der Nervencentren, welcher zu den Athembewegungen in näherer Beziehung steht, — vor allem, wie das Experiment gelehrt hat, das verlängerte Mark — gewisse Eindrücke, welche, je nach der Stärke, mit der sie erfolgen, zum Bewusstsein kommen oder nicht, und in deren Folge die in den Athemmuskeln sich verzweigenden motorischen Nervenfasern stärker angeregt werden, so dass eine Athembewegung entsteht, wodurch die in den tieferen Parthieen der Athemorgane enthaltene Kohlensäure entweichen und an deren Stelle Sauerstoff treten kann, so dass der Gaswechsel wieder mit neuer, vermehrter Thätigkeit erfolgt.

Es kann gegenwärtig natürlich an keine Darstellung der nächsten, d. h. der in dem Nervensystem begründeten Ursachen der Athembewegungen gedacht werden, eine Frage, die erst, wenn die vegetative Seite des Lebens gehörig durchstudirt ist, mit Erfolg untersucht werden kann, wesshalb wir gegenwärtig bei einer ganz allgemein gehaltenen Vorstellung über die Funktion der Nerven beim Athmen stehen bleiben müssen, welche durch spätere, detaillirteren Erfahrungen weiter geprüft werden muss.

Die so eben vorgetragene Anschauungsweise, so ungenügend und unausgeführt sie auch erscheinen mag, hat für sich, dass, indem sie zwischen den Zuständen der Nerven und den Erscheinungen des gesammten Stoffwechsels im Organismus einen Zusammenhang annimmt, dessen Vorhandensein im Allgemeinen kein Physiologe in Abrede stellt, dieses gegenseitige Verhältniss auf *eine und dieselbe Ursache* zurückgeführt wird. Dadurch wird wenigstens ein sehr häufig begangener Fehler vermieden, dass nämlich zwei Kräfte, die Nervenkraft und die, die Umsetzung der

Materie bewirkende chemische Kraft auf einander wirken sollen, denen man eine völlig differente Natur zuschreibt, sodass gar nicht einzusehen ist, wie dieselben sich gegenseitige Angriffspunkte bieten können.

Versuchen wir nun einen Schritt weiter, um die Thatsache, dass die Bildung der Kohlensäure der Ausscheidung derselben vollkommen genau entspricht, erklären zu können. Nach unserer Hypothese versetzen die Nerven die Centraltheile des Nervensystemes in Folge der, in den Organen stattfindenden Bildung von Kohlensäure in einen, dem jeweiligen Stoffwandel in den Organen vollkommen entsprechenden Grad von Erregung. Dasselbe geschieht von Seiten der, in den Lungen sich verzweigenden sensoriellen Nerven; auch sie versetzen ihre betreffende Parthie in den Nervencentren in gewisse Zustände, welche von dem in ihnen stattfindenden Stoffwechsel abhängen, eine Ansicht, zu der unter anderen *F. Arnold* (in seiner Physiologie) sich ebenfalls bekennt. Die Eindrücke, welche dem, mit der Respiration in Verbindung stehenden Centraltheile des Nervensystemes mittelst dieser beiden Wege zugeleitet werden, müssen unter sich in einem gewissen Verhältnisse stehen, dessen Nothwendigkeit wir anzunehmen haben, wenn wir vorerst auch unfähig sind, uns eine genauere Vorstellung darüber zu machen. Erfährt nun die Bildung der Kohlensäure in den Organen (unsere parenchymatöse Diffusion) eine Zunahme, sodass das Blut reicher an Kohlensäure in die Lungen gelangt, so muss auch eine grössere Quantität derselben in die Lungenzellen austreten. Dadurch wird die Ausscheidung der Kohlensäure für das sogleich nachströmende Blut erschwert, sodass dasselbe nur unvollkommen die nöthige Umwandlung erfährt, wovon ein geringerer Stoffwechsel der Substanz der Lungen, also auch der in ihr verbreiteten Nerven, die unmittelbarste Folge ist. Es empfangen alsdann die Nervencentren, von den Lungennerven aus, Eindrücke, die mit den, vom gesammten Nervensysteme der Organe zugeleiteten nicht in Harmonie stehen; letzteres ist aber nicht mehr der Fall, wenn, der stärkeren Bildung der Kohlensäure im Parenchyme der Organe entsprechend, die Ausscheidung derselben aus dem Organismus durch frequentere und tiefere Athembewegungen befördert wird, sodass alsdann der

Stoffwechsel in der Substanz der Lungennerven mit der, dem parenchymatösen Stoffwandel entsprechenden Energie vor sich geht.

Es kommt, wie wir schon früher gesehen haben, bei der Ausscheidung der Kohlensäure nicht auf absolute Quantitäten, sondern ganz offenbar darauf an, dass das Blut sich einer gewissen, von seinem gesammten Kohlensäuregehalt abhängenden, Menge dieses Gases entledige. Wir finden im normalen Zustande die grössten Schwankungen in der absoluten und relativen Kohlensäure. Das Athmen ist auch bei bedeutender Ausscheidung der Kohlensäure mit keinen Beschwerden verbunden, indem einem stärkeren Kohlensäuregehalte der Lungen zugleich eine verstärkte Kohlensäurequantität im Blute entspricht, sodass die Eindrücke, welche den Nervencentren sowohl von den Lungennerven, als auch von den Nerven aller übrigen Organe zugeleitet werden, noch immer in dem, für die Norm erforderlichen Verhältnisse stehen.

Ueber die Nothwendigkeit des Nervensystemes zur Vermittelung der *animalischen* Verrichtungen können wir, wenn wir auch nicht im Stande sind, die hier sich bietenden Erscheinungen zu erklären, nicht in Zweifel sein; wohl aber hat die, jetzt nicht mehr zu läugnende Thatsache, dass so viele andere Verrichtungen des thierischen Organismus durch rein physicalische oder chemische Kräfte ihre vollständigste Erklärung finden, hinsichtlich des Zusammenhanges dieser letzteren mit dem Nervensysteme, zu den verschiedensten Hypothesen und namentlich auch zu der Ansicht geführt, dass die Nerven gar keinen Einfluss auf die *vegetativen* Functionen ausüben.

Einen unmittelbaren Einfluss auf den Chemismus des Stoffwechsels äussert das Nervensystem allerdings nicht. Die, namentlich von älteren Experimentatoren, über den Einfluss der Durchschneidung der Lungennerven auf die Umwandlung des venösen Blutes aufgefundenen Thatsachen, die übrigens bekanntlich sehr viel Widersprechendes enthalten, lassen sich auf andere Weise erklären, als durch die, von Einigen aufgestellte Annahme, dass die Nerven Ursache der Umwandlung des venösen Blutes in arterielles seien. Die nach Section des zehnten Hirnnervenpaares auftretenden Veränderungen in den Lungen und in der Arterialisation des Blutes sind die näch-

sten Wirkungen der, in Folge der aufgehobenen Zuleitung der Zustände der Lungen zu den Nervencentren eintretenden, wenn auch nur geringen, Störungen in den Athembewegungen, indem die letzteren alsdann auf eine, der Bildung der Kohlensäure in dem Parenchyme der Organe nicht entsprechende Weise von statten gehen.

Da die Umsetzung der Organe ungemein grosse und oft sehr schnell wechselnde, durch innere Ursachen, z. B. die Verdauung, Bewegung, bedingte Verschiedenheiten zeigt, so muss auch, wenn die Bildung der Excretionsstoffe plötzlich vermehrt wird, für eine entsprechende Ausscheidung der letzteren gesorgt werden. Dieses ist bei der Pflanze aus zwei Gründen nicht nöthig; sie erfährt keine plötzliche Steigerung ihrer Funktionen in Folge innerer Zustände, wodurch eigenthümliche Apparate nöthig gemacht würden, um sowohl die, alsdann in grösserer Quantität gebildeten Excretionsproducte auszuführen, als auch zwischen der Bildungsstätte der Excrete und den Organen ihrer Ausscheidung einen beständigen Consens zu vermitteln. Ferner sind ihre Excretionsorgane nicht in der Art concentrirt, wie dieses bei den Thieren der Fall ist; so ist bei der Ausscheidung und Aufnahme von Gasen fast die ganze Oberfläche der Pflanze betheiligt, wobei leicht einzusehen ist, dass eine Stockung in diesem Processe viel weniger vorkommen kann, als bei der Ausscheidung der Gase durch die Lungen, welche der Atmosphäre eine, verhältnissmässig sehr beschränkte Communication darbieten.

Vergleichen wir demnach die Vorgänge des Stoffwechsels der Pflanzen mit denen der Thiere, so können wir bei den letzteren dem Nervensysteme gar keine andere Bedeutung zuschreiben, als die Vermittelung einer regelmässigen Ausscheidung der Excretionsstoffe. Diese Ausscheidung ist bei den Thieren in einem, der Bildung der Excretionsstoffe entsprechenden Verhältnisse, wie wir gesehen haben, nur durch die Thätigkeit des Nervensystemes möglich, sodass dasselbe mittelbar auch auf die Mischung der Säfte und festen Theile des Körpers influirt, indem auf letztere eine Störung in der Ausführung der Excrete von rückwirkendem Einflusse ist. —

Ueberblicken wir zum Schlusse den gesammten Respirationspro-

cess, so tritt uns als Grundphänomen desselben eine, durch das einfachste physikalische Princip vermittelte, beständige Aufnahme und Ausscheidung von Gasen entgegen. Dieser Gaswechsel ist dergestalt geregelt, dass nur soviel aufgenommen und ausgeschieden wird, als den jedesmaligen Zuständen und Bedürfnissen des Körpers entspricht, indem eine übermässige Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Blute in die Lungen durch den, mit der Kohlensäure des Blutes in einem bestimmten Verhältnisse stehenden Kohlensäuregehalt der Lungen verhütet wird, sowie auch die in dem Blute enthaltene Kohlensäure einer zu reichlichen Entwickelung von Kohlensäure in dem Parenchyme der Organe vorbeugt. Ebenso ist auch die Aufnahme von Sauerstoff in das Blut und in die Substanz der Organe auf ähnliche Weise, nur in umgekehrter Ordnung geregelt.

Das Leben kann nur bestehen bei einer beständigen Umsetzung der Moleküle der Organe, die vorzüglich durch eine ununterbrochene Aufnahme und Ausscheidung von Gasen vermittelt wird, welche, je nach der Energie, mit der die Funktionen des Körpers vor sich gehen, in stärkerem oder schwächerem Grade erfolgt. Dieser Stoffwechsel wird sowohl durch äussere Ursachen, wie die Wärme, den Luftdruck u. s. w., als auch durch innere, wie z. B. körperliche Anstrengung, die Verdauung u. s. w., *in letzter Instanz aber durch die einfachen Gleichgewichtsverhältnisse, in welchen die in der Substanz der Organe, im Blute und in den Lungen enthaltenen Gase zu einander stehen, bedingt.*

In der Regel sind es innere, von einer Steigerung oder Minderung der Funktion irgend eines Organes oder Systemes herrührende Zustände des Körpers, welche die Schwankungen in der Ausscheidung der Kohlensäure (vor allem die plötzlich eintretenden) veranlassen, was uns jedoch nicht zu der fehlerhaften Ansicht verleiten darf, den Gaswechsel alsdann von einer, dem Organismus ausschliesslich eigenthümlichen Kraft abzuleiten.

Nichts ist geeigneter die Existenz rein physikalischer Gesetze bei diesem Processe zu beweisen, als die Experimente, die wir über sehr schnelle, durch längere Zeit fortgesetzte Athembewegungen angestellt haben. Während kurz vorher beim normalen

Athmen verhältnissmässig wenig Kohlensäure, d. h. nur soviel, als dem jeweiligen Zustande des Organismus gemäss war, ausgeschieden wurde, vermehrte ich, indem die Zahl der Athembewegungen ausserordentlich gesteigert wurde, den Contakt der atmosphärischen Luft mit dem Blute auf eine solche Weise, dass in derselben Zeit enorme Quantitäten von Kohlensäure ausgeathmet wurden. Der bei diesen Experimenten in einem ungemein gesteigerten Verhältnisse aufgenommene Sauerstoff fand im Blute und in der Substanz der Organe in hinreichender Menge oxydirbare Stoffe vor, um in kürzester Zeit bedeutende Quantitäten von Kohlensäure zu bilden. Es befanden sich bei diesen Experimenten die Athembewegungen in einem, dem Respirationsbedürfnisse des Organismus gegenüber, überwiegenden Missverhältnisse; es konnten die oxydabeln Bestandtheile des Organismus nicht geschützt werden vor zu rascher Zersetzung, vor einem rapiden Gaswechsel, sodass der Organismus in der That, unter jenen normwidrigen Verhältnissen, einer zehrenden Wirkung der Atmosphäre ausgesetzt war.

Dieser merkwürdige Gaswechsel, den wir bis in's Detail kennen gelernt haben, steht zu dem Zerfallen der organischen Moleküle in innigster Beziehung; er ist der genaueste Ausdruck der Energie, mit welcher die Oxydation der organischen Bestandtheile vor sich geht.

*Wir sind bei allen unseren Untersuchungen über das Athmen auf keine Erscheinung gestossen, welche sich nicht durch chemische oder physikalische Kräfte erklären liesse; ja es schien uns im höchsten Grade wahrscheinlich, dass auch die Wirkung der Nerven beim Athmen in nichts anderem bestehe, als in der, durch die Organisation der Respirationswerkzeuge nothwendig gewordenen Vermittelung einer übereinstimmenden Thätigkeit zwischen der Erzeugung der Gase und ihrer Ausscheidung, eine Ansicht, zu deren Durchführung wir — zunächst wenigstens — ebenfalls keine anderen Kräfte anzunehmen haben, als diejenigen, welche dem organischen Stoffwechsel überhaupt zu Grunde liegen.*

Wir haben uns übrigens bei unseren Untersuchungen über das Athmen keineswegs von der, in neuester Zeit öfters, mit mehr

oder weniger Erfolg, hervorgetretenen Tendenz leiten lassen, dem Körper eigenthümliche, specifische Kräfte abzusprechen, und eine Frage anmasslich zu entscheiden, die zwar nicht über unser Vorstellungsvermögen hinausragt, die aber erst nach einem viel grösseren und vor allem *besser geordneten*, empirischen Materiale, als uns heute zu Gebote steht, ihre Erledigung sicher finden wird, trotz der Behauptung derer, die den Organismus so gerne mit einem undurchdringbaren Nimbus umgeben möchten. Vorerst müssen wir es, da man ja nicht einmal über die Begriffe der organischen Kraft, der Lebenskraft, der Nervenkraft, oder wie man diese unbekannten Grössen nennen mag, eine Ahnung hat, für durchaus unwissenschaftlich halten, sich über diese Fragen in speciellere Discussionen einzulassen, eine Behauptung, welche freilich die in Deutschland (Dank unserem philosophischen Talente, dessen man sich bisweilen sogar innerhalb des Kreises der Naturwissenschaft rühmt!) leider so tief eingewurzelte und selbst noch den rohesten Empiriker unbewusst beherrschende speculative, scholastische Medicin für ganz verwerflich halten muss.

Bei dem Studium des Respirationsprocesses erschien uns wenigstens die Annahme anderer, als chemisch-physikalischer Kräfte ganz überflüssig und nirgends gerechtfertigt, und wir hielten uns strenge an die Regel, dass eine wissenschaftliche Naturforschung es vermeiden müsse, *hypothetische* Ursachen da zu statuiren, wo sie mit *bekannten* und völlig *constatirten* zur Erklärung der Erscheinungen ausreichen kann.

# Ergebnisse.

Von den Resultaten dieser Schrift glaube ich zum Schlusse einige, vor allen diejenigen, welche sich auf den, bei der Respiration vorkommenden Gaswechsel beziehen, und die sich mit wenigen Worten kurz anführen lassen, hervorheben zu müssen *):

1) Die respiratorischen Funktionen zeigen im Zustande vollkommener körperlichen Ruhe folgende Mittelwerthe:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Pulsfrequenz | in 1 Minute | = | 75,52 |
| Exspirationsfrequenz | in 1 Minute | = | 11,9 |
| Volum der ausgeathmeten Luft | in K. C. | = | 6034 |
| Volum der ausgeathmeten Kohlensäure | in K. C. | = | 261,52 |
| Volum einer Exspiration | in K. C. | = | 507 |
| Kohlensäure in 100 Raumtheilen Luft | | = | 4,334 |
| Ausgeathmetes Wasser in einer Minute | | = | 0,25 Gramm. |

2) Die Mittel aus den 5 niedersten und den 5 höchsten Werthen der einzelnen respiratorischen Funktionen sind folgende:

| | | Minimum | Maximum | |
|---|---|---|---|---|
| Puls | in einer Minute | 54 | 101 | |
| Athemzüge | in einer Minute | 9 | 15 | |
| Volum der ausgeathmeten Luft | in einer Minute | 4206 | 9331 | Kub. Cent. |
| Volum der ausgeathmeten Kohlensäure | in einer Minute | 177 | 452 | Kub. Cent. |
| Volum einer Exspiration | | 367 | 699 | |
| Kohlensäure in 100 Raumtheilen ausgeathmeter Luft | | 3,358 | 6,220 | |

*) Sämmtliche Gasvolumina sind, um nochmals darauf aufmerksam zu machen, auf + 37° C. und 336 par. Linien Barometerstand berechnet.

3) Setzt man den Mittelwerth jeder respiratorischen Funktion = 100, so sind die, zwischen 9 Uhr Vormittags und 8 Uhr Abends beobachteten Differenzen zwischen dem Maximum und dem Minimum der Funktionen folgende:

bei dem Volum einer Exspiration 8 %
„ der Zahl der Athemzüge 14 %
„ „ „ „ Pulsschläge 20 %
„ „ in 1 Minute ausgeathmeten Luft 22 %
„ „ „ „ Kohlensäure 23 %

4) Diese bedeutenden Verschiedenheiten der Energie der respiratorischen Funktionen in den genannten Tageszeiten sind fast ausschliesslich eine Folge innerer Zustände des Körpers, nicht aber äusserer Einflüsse.

5) Die Mittagmahlzeit erhöht die

Pulsfrequenz in 1 Minute um 16,3 Pulsschläge
Athemzüge „ „ „ „ 1,72 Exspirationen
ausgeathmete Luft „ „ „ „ 683 } Kub. Cent.
„ Kohlensäure „ „ „ „ 49,18 }

Die Abendmahlzeit äussert ähnliche Wirkungen, höchstens etwas schwächer.

6) Spirituöse Getränke vermindern, selbst in mässiger Quantität genossen, bei leerem Magen sehr schnell die Kohlensäure um $^1/_2$ %, ohne dass zugleich die Zahl und Grösse der Exspirationen zunimmt. Es nimmt somit bei mittlerem Kohlensäuregehalte der ausgeathmeten Luft nach dem Genuss geistiger Getränke die Ausscheidung der Kohlensäure um etwa $^1/_8$ ab.

7) Bei mässiger körperlichen Bewegung wird etwa $^1/_3$ mehr Kohlensäure exhalirt, als im Zustande der Ruhe.

8) Die Körperbewegung zeigt ferner als Nachwirkung eine Vermehrung der in 1 Minute ausgeathmeten Luft von etwa 300 K. C.
„ „ „ „ Kohlensäure „ „ 19,6 „
der relativen Kohlensäure von 0,14 %

9) Mit zunehmender Wärme der Luft nimmt das Athembedürfniss bedeutend ab. Eine Veränderung der Temperatur von nur

1° C. bewirkt im Mittel folgende Veränderungen der einzelnen respiratorischen Funktionen:

| | | |
|---|---|---|
| Athemzüge in 1 Minute, um | 0,054 | |
| ausgeathmete Luft „ „ „ „ | 60,18 | Kub. Cent. |
| ausgeathmete Kohlensäure „ „ „ „ | 3,809 | |
| Volum einer Exspiration „ | 2,495 | |
| Relative Kohlensäure „ | 0,0183 % | |

Es resultirt daraus, dass starke Temperaturschwankungen einen sehr bemerklichen Einfluss auf die Respiration ausüben. Der Puls verhält sich der Lufttemperatur gegenüber fast ganz unabhängig.

10) Der Luftdruck ist von nicht minder erkennbarem, jedoch desshalb weniger wirksamen Einflusse, weil seine Variationen verhältnissmässig gering sind. Ein Steigen des Barometers um $5^6/_{10}$ paris. Linien vermehrt:

| | |
|---|---|
| die Pulsfrequenz in 1 Minute um | 1,3 |
| die Exspirationen „ „ „ „ | 0,74 |
| das Volum einer Exspiration „ | 0,6 C. K. (dieser Einfluss ist = 0) |
| die in 1 Minute überhaupt ausgeathmete Luft „ | 586 C. K. |

Die relative Kohlensäure vermindert sich um 0,309 %; die absolute um 1,35 C. K. (letzterer Einfluss ist = 0).

11) Einem vermehrten Athmungsbedürfnisse, d. h. einer stärkeren Ausscheidung der Kohlensäure wird im Allgemeinen zwar durch Vermehrung der Energie sämmtlicher respiratorischen Funktionen entsprochen; doch zeigen diese letzteren bedeutende Differenzen hinsichtlich ihrer Abhängigkeit von den verschiedenen, auf die Respiration wirkenden Einflüssen, was z. B. schon aus der Vergleichung der über die Wirkungen des Luftdruckes und der Temperatur mitgetheilten Thatsachen hervorgeht.

12) Jede Exspiration, sei sie noch so kurz oder möglichst langsam, zeigt ausser einer gewissen constanten Kohlensäurequantität eine weitere Menge von Kohlensäure, welche der Dauer des Athemzuges proportional ist.

Es ist nämlich die bei einer beliebigen Dauer einer Exspiration ausgeathmete Kohlensäure gleich derjenigen Kohlensäuremenge,

welche bei der kürzesten Exspiration gebildet wird, plus einer weiteren Quantität, welche gleich ist der Differenz der Zeitdauer der gesuchten Exspiration von der kürzesten Exspiration, dividirt durch die zehnmalige Dauer der kürzesten Exspiration.

13) Ist z. B. der Kohlensäuregehalt der durch normale Exspirationen ausgeathmeten Luft = 4,1 %, so sind in der durch möglichst schnelle Ausathmungen exhalirten Luft 2,7 % Kohlensäure enthalten.

Dagegen verhält sich die durch vollkommen ruhiges Athmen ausgeschiedene absolute Kohlensäurequantität zu der durch möglichst frequente Exspirationen gebildeten ungefähr wie 1 : 8.

14) Die Grösse (Tiefe) der Athembewegungen ist von sehr bedeutendem Einfluss auf die Ausscheidung der Kohlensäure, indem mit zunehmender Tiefe derselben die in der ausgeathmeten Luft enthaltene Kohlensäure abnimmt, was jedoch bei Berechnung der absoluten Quantitäten der ausgeschiedenen Kohlensäure durch die vergrösserten Volumverhältnisse der Exspirationen wieder compensirt wird.

15) Der Kohlensäuregehalt der nach möglichst tiefen Athembewegungen, d. h. Ein- und Ausathmungen, ausgeathmeten Luft ist 1,97 % geringer, als in der durch Athemzüge von normaler Grösse ausgestossenen Luft.

16) Gleiche Luftvolumina, mögen dieselben durch frequente aber weniger tiefe, oder durch tiefe aber langsame Exspirationen ausgeschieden werden, enthalten gleiche Kohlensäurequantitäten.

17) Der Kohlensäuregehalt der in den Lungen enthaltenen Luft nimmt in den feineren Verzweigungen der Bronchien bedeutend zu, so dass die tiefsten Schichten der Athemorgane etwa 1,2 % mehr Kohlensäure enthalten, als die durch normale Exspirationen ausgeathmete, d. h. in den oberen Parthieen der Luftwege befindliche Luft.

18) Beim Aufhören der Athembewegungen und zugleich erfolgender vollständigen Hemmung der Luftzufuhr nimmt der Kohlensäuregehalt der Luft in den Lungen beständig zu. Diese Zunahme ist zu Anfang des Versuches viel bedeutender, als gegen das Ende desselben.

19) Ist die Lunge von normaler Füllung, so enthält sie nach einer Minute (als der längsten Zeit, während welcher die Re-

spiration unterbrochen werden kann,) 2,42% mehr Kohlensäure als in der Norm.

Wird aber vorher eine möglichst tiefe Inspiration gemacht, so zeigt die ausgeathmete Luft nach 100 Sekunden (als dem Maximum der Möglichkeit der Athemhemmung) eine Zunahme von 3,08 % Kohlensäure.

20) Bei gehemmter Luftzufuhr in die Lungen gleicht sich der Kohlensäuregehalt der in den verschiedenen Parthieen der Athemorgane enthaltenen Luft schnell in der Art aus, dass die Analyse kaum mehr eine Differenz nachweisen kann.

21) Durch so lange als möglich fortgesetztes Athmen von einem und demselben Luftvolum nimmt, wenn das letztere ungefähr 7000 Kub. Cent. beträgt, die Kohlensäure um 1,5 % zu.

22) Die von 12 bis 21 mitgetheilten, aus vielen Experimenten erhaltenen Resultate geben ein fast vollständiges Material zur exakten Begründung der Gesetze, nach welchen der, das Grundphänomen des Athmens darstellende Gaswechsel erfolgt.

23) Die Aufnahme und Ausscheidung der Gase aus dem Blute sind das Resultat combinirter physikalischer und chemischer Kräfte.

24) Bei dem Gasaustausche zwischen Lungen und Blut bestimmen die einzelnen Gase einander gegenseitig durchaus nicht. So ist z. B. die Ausscheidung der Kohlensäure zunächst nur wieder von den Verhältnissen der Kohlensäure selbst abhängig.

25) Die Quantität der beim Athmen aus dem Blute in die Lungen ausgeschiedenen Kohlensäure nimmt mit zunehmendem Kohlensäuregehalte der in den Lungen befindlichen Luft in einem mathematisch genau zu bestimmenden Verhältnisse ab.

26) Die Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Blut ist ferner eine Funktion des Kohlensäuregehaltes des Blutes; sie steigt und fällt in geradem Verhältnisse zu der im Blute befindlichen Kohlensäurequantität.

27) Die Ausführung der Kohlensäure aus den Lungen wird vermittelt: 1) durch den stärkeren Kohlensäuregehalt der in den tieferen Schichten der Lungen enthaltenen Luft, wodurch in derselben das Bestreben entsteht, sich hinsichtlich ihrer Mischung mit der in den oberen Parthieen der Lungen befindlichen, viel weniger

Kohlensäure enthaltenden Luft in's Gleichgewicht zu setzen und 2) durch die Exspirationsbewegungen.

28) Auch ohne die Athembewegungen wird vermöge des Principes der Diffusion der Gase etwas Kohlensäure aus den Lungen ausgeschieden. Die auf diese Art austretende Kohlensäurequantität ist etwa $^1/_{28}$ von der durch vollkommen ruhige Athembewegungen ausgeschiedenen.

29) Wie zwischen den in dem Blute der Lungenkapillaren enthaltenen Gasen und der in den Lungenzellen befindlichen Luft, so findet auch zwischen den Gasen der Körperkapillaren einerseits und denjenigen des Parenchymes der Organe andererseits ein gegenseitiger Ortswechsel statt.

30) Die Erscheinungen des Gaswechsels bei der Respiration führen nothwendig zu der Annahme, das nur ein Theil des eingeathmeten Sauerstoffes mit den oxydabeln Bestandtheilen des Blutes sich verbinden kann, während eine andere Quantität Sauerstoff (wie die übrigen Gase des Blutes) einfach in dem letzteren gelöst ist, um sich im Parenchym der Organe mit denselben chemisch zu verbinden.

31) Die Kohlensäure wird sowohl im Blute, als auch, und zwar vorzugsweise, in den Organen gebildet.

32) Von der Bildung der Kohlensäure bis zu ihrer endlichen Ausscheidung können wir eine ununterbrochene Kette von Ursache und Wirkung genau verfolgen. Eine Störung an irgend einem Punkte derselben ist sogleich auf alle übrigen von grösster Rückwirkung.

33) Die Erscheinungen der Respiration lassen sich ganz allgemein auf die Gleichgewichtsverhältnisse zurückführen, in welchen die in der Substanz der Organe, im Blute, in den Lungen und in der umgebenden Atmosphäre enthaltenen Gase zu einander stehen.

# Inhalt.


Seite.

**Vorrede** . . . . . I

**Erster Abschnitt.** Beschreibung der bei der Untersuchung der ausgeathmeten Luft angewandten Methode. 1

*Erstes Kapitel.* Verfahren bei der Ansammlung der ausgeathmeten Luft. . . . . 1

*Zweites Kapitel.* Bestimmung der Kohlensäure. . . 7

*Drittes Kapitel.* Bestimmung des Wassers. . . . . 13

**Zweiter Abschnitt.** Beobachtungen und Experimente über das Athmen, mit besonderer Rücksicht auf den Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft. . . . . 16

*Erstes Kapitel.* Einige zum Verständnisse der Beobachtungen nöthige Vorbemerkungen. . . . . 16

*Zweites Kapitel.* Versuchsreihe. . . . . 21

**Dritter Abschnitt.** Beobachtungen über die Wirkung einiger Einflüsse der Aussenwelt, sowie einiger Zustände und Verrichtungen des Körpers auf das Athmen. 66

*Erstes Kapitel.* Ueber den Einfluss der Tageszeit. . 66

*Zweites Kapitel.* „ „ „ der Temperatur . 73

*Drittes Kapitel.* „ „ „ des Luftdruckes. 82

*Viertes Kapitel.* „ „ „ der Verdauung. . 90

*Fünftes Kapitel.* „ „ „ der körperlichen Bewegung. . . . . 98

**Vierter Abschnitt.** Experimente über den Einfluss der Athembewegungen auf den Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft. . . . . 102

*Erstes Kapitel.* Ueber den Einfluss der Häufigkeit der Athemzüge auf den Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft. . . . . 102

*Zweites Kapitel.* Ueber den Einfluss der Grösse der Athembewegungen auf die Ausathmung der Kohlensäure. 120

*Drittes Kapitel.* Von der in den verschiedenen Parthieen der Lungen enthaltenen Kohlensäuremenge. . 130

*Viertes Kapitel.* Ueber die Ausscheidung der Kohlensäure bei gehemmtem Athmen. . . . . 136

*Anhang*: Ueber den Kohlensäuregehalt derjenigen Luft, welche öfters ein- und ausgeathmet wird. 148

**Fünfter Abschnitt.** Ueber die durch die Respiration ausgeschiedenen Wasserquantitäten. . . . . 150

**Sechster Abschnitt.** Geschichte der Respirationstheorieen. . . . . 156

**Siebenter Abschnitt.** Theorie der Respiration. 168

*Erstes Kapitel.* Ueber die Bedeutung der Respiration im Allgemeinen. . . . . 168

*Zweites Kapitel.* Ueber die bei der Ausscheidung der Kohlensäure zunächst in Betrachtung kommenden Momente. . . . . 173

*Drittes Kapitel.* Anwendung einiger Lehrsätze der Physik auf den bei der Respiration sattfindenden Gaswechsel. 176

*Viertes Kapitel.* Darstellung des Gesetzes, nach welchem das Austreten des kohlensauren Gases aus dem Blute in die Lungenzellen erfolgt. . . . . 184

*Fünftes Kapitel.* Ueber die Bedeutung der Athembewegungen bei dem respiratorischen Processe. . . 190

*Sechstes Kapitel.* Ueber den Einfluss des Blutes auf die Ausscheidung der Kohlensäure . . . . . 197

*Siebentes Kapitel.* Ueber die Ursachen der Ausscheidung des Wassers und Stickgases und der Absorption des Sauerstoffgases. . . . . 206

*Achtes Kapitel.* Ueber die Umwandlung des venösen Blutes in arterielles, und über die Gase des Blutes. 210

*Neuntes Kapitel.* Ueber die Umwandlung des arteriellen Blutes in venöses, und über die Bildung der Kohlensäure. . . . . 220

*Zehntes Kapitel.* Die Respiration in ihrem Verhältnisse zu der Körperwärme. . . . . 226

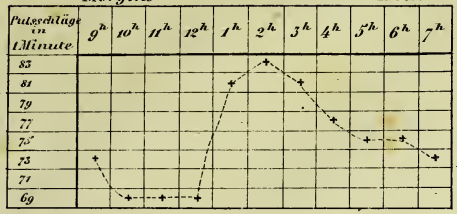
*Elftes Kapitel.* Der Einfluss der Nahrungsmittel auf die Respiration. . . . . 238

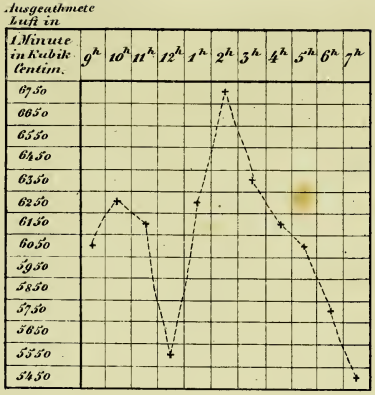
*Zwölftes Kapitel.* Ueber die Ursachen der Athembewegungen. . . . . 247

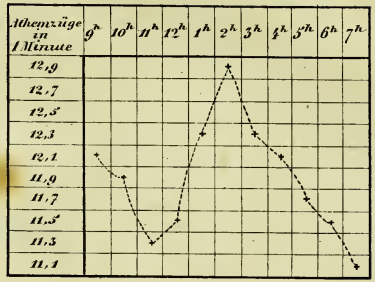
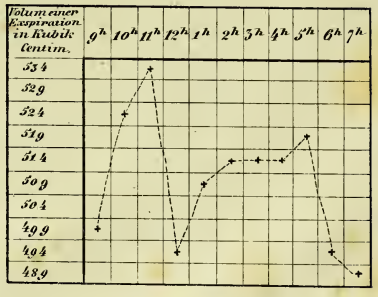
**Ergebnisse.** . . . . . 255

## Druckfehler.

Seite 28 Zeile 3 von unten, statt 132 l. 133
- 102 die Anmerkung * gehört zu der Ueberschrift des *ersten Kapitels*.
- 118 in der Tabelle, statt 96,000 l. 96000.
- - - - - - 192,000 l. 192000.
- 142 - - Rubrik: „100 Sekunden", statt 806 l. 8,06.
- 145 - - - „30 - - 351′ l. 3ʰ51′.
- - - - - „ - - 410′ l. 4ʰ10′.






# Die Energie der respiratorischen Functionen in den verschiedenen Tageszeiten.